



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO AMBIENTAL**

UEDJA TATYANE GUIMARÃES MEDEIROS LIMA

**USO DA FIBRA DO RESÍDUO DE COCO VERDE NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS
ECOLÓGICOS**

Recife, 2020

UEDJA TATYANE GUIMARÃES MEDEIROS LIMA

**USO DA FIBRA DO RESÍDUO DE COCO VERDE NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS
ECOLÓGICOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, para qualificação como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

Linha de Pesquisa: Tecnologias e inovações ambientais

Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva
Orientador

Prof. Dr. Eduardo José Alécio de Oliveira
Co-Orientador

Recife, 2020

L732u

Lima, Uedja Tatyane Guimarães Medeiros.

Uso da fibra do resíduo de coco verde na produção de tijolos ecológicos. /
Uedja Tatyane Guimarães Medeiros Lima. – Recife, PE: O autor, 2020.
85 f.: il., color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva.

Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo José Alcécio Oliveira.

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Campus Recife, Coordenação de Pós-Graduação - Mestrado Profissional em Gestão Ambiental, 2020.

Inclui referências.

1. Construção solo-cimento. 2. Resíduo Sólido. 3. Coco Verde - Fibra. 4. Tijolo Ecológico - PE. I. Silva, Ronaldo Faustino da (Orientador). II. Oliveira, Eduardo José Alcécio (Co-orientador). III. Título.

693.4

CDD (22 Ed.)

UEDJA TATYANE GUIMARÃES MEDEIROS LIMA

**USO DA FIBRA DO RESÍDUO DE COCO VERDE NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS
ECOLÓGICOS**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental.

Data da defesa: 02 / 03/ 2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva
Orientador - IFPE

Prof. Dr. Eduardo José Alécio Oliveira
Co-orientador- IFPE

Prof.^a Dr.^a. Sofia Suely Ferreira Brandão Rodrigues
Examinador Interno - IFPE

Prof. Dr. João Manoel de Freitas Mota
Examinador Externo – IFPE

A meus pais
Sebastião Medeiros e Zelinda Guimarães.
“ Honra a teu pai e tua mãe,
para que se prolonguem os teus dias na terra
que o senhor teu Deus te dá.”
Êxodo 20:12

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela oportunidade de me tornar mestra ao Instituto Federal de Pernambuco e ao Mestrado Profissional em Gestão Ambiental.

Ao Prof. Dr. Ronaldo Faustino, meu orientador, que contribuiu sobremaneira para a execução bem-sucedida deste trabalho, sobretudo com sugestões e colocações pertinentes.

Ao coorientador Prof. Dr. Eduardo Alécio cuja participação e contribuição viabilizaram o bom desenvolvimento do trabalho.

Aos Professores Doutores João Manuel e Sofia Brandão membros da banca externa e interna, pelas contribuições sugeridas.

A Prof.^a. Dra. Janaina Acordi Junkes que despertou em mim na época de graduação o interesse pela pesquisa, por permitir a utilização de seu laboratório, máquinas e materiais os quais foram imprescindíveis para realização da dissertação.

Aos meus pais, Zelinda Guimarães e Sebastião Medeiros, o quais sem eles nada seria possível, ao meu esposo Maximiliano por toda força, companheirismo, incentivo e ao meu filho Ícaro Guilherme, que me faz seguir sempre em frente.

A todos os professores e colegas de turma que tive o prazer de conhecer, compartilhar momentos e aprendizados até aqui adquirido.

Aos técnicos de laboratório de tecnologia da construção do Instituto Federal de Pernambuco, campus Recife, André Miranda, Allison Pessoa e minha amiga, Amanda Tenório, mestrandas e parceiras de pesquisa do Centro Universitário Tiradentes, por serem sempre solícitos e empenhados com a realização dos procedimentos experimentais avanço e desenvolvimento do trabalho me ensinando e orientando a parte prática dos ensaios e experimentos.

“ É melhor lançar-se à luta em busca do triunfo, mesmo expondo-se ao insucesso, que formar na fila com os pobres de espírito, que nem gozam muito bem nem sofrem muito e vivem nessa penumbra cinzenta sem conhecer o sabor da vitória nem o dessabor da derrota. ”

(Franklin Delano Roosevelt)

RESUMO

O crescimento populacional traz consigo uma das maiores preocupações da sociedade moderna, como grande volume da produção de resíduos sólidos, entre eles o resíduo do coco verde. O desenvolvimento sustentável com a utilização de recursos naturais e processos produtivos sem emissões de poluentes se torna a cada dia mais consolidado. Neste âmbito, vários estudos são realizados buscando o reaproveitamento do fruto coco verde descartados pelas diferentes cadeias produtivas e de consumo. Uma das alternativas para atenuação desse problema é a incorporação destes resíduos em massas cerâmicas para a fabricação de tijolos ecológicos destinados à execução de alvenaria sem função estrutural em obras de construção civil. O solo-cimento também conhecido como tijolo ecológico é um produto endurecido resultante da cura de uma mistura homogênea compactada de solo, cimento, água, em proporções que garantam resistência mecânica e durabilidade. A fabricação de tijolos ecológicos traz grandes vantagens em relação ao tripé da sustentabilidade: econômica, ambiental e social. Nesta perspectiva, este trabalho analisou o comportamento de tijolos ecológicos confeccionados com fibra de coco verde de modo a atender aos critérios da norma ABNT NBR 8491:2012. Os teores de adição da fibra a massa empregados nesta pesquisa foram de 0%, 2%, 3% e 4%. Os tijolos são do tipo vazado e confeccionados em tamanho 240x120x70 mm. Foram realizados ensaios tecnológicos de absorção de água e resistência à compressão axial, com tempo de cura de 7 dias. Também foram realizados ensaios de caracterização das matérias-primas como: análise granulométrica, limites de consistência, classificação HRB, determinação de impureza orgânica assim como determinação de massa específica real e teor de umidade das fibras. Os ensaios de resistência à compressão e absorção de água indicaram que os melhores resultados obtidos foram dos tijolos com o teor de 4% de fibra na mistura solo-cimento, tendo-se assim um tijolo de cunho ecológico propício para o sistema construtivo de alvenaria sem função estrutural.

Palavras chave: resíduos sólidos, fibra de coco verde, solo-cimento-fibra, tijolo ecológico.

ABSTRACT

Population growth brings one of the greatest concerns of modern society, such as a large volume of waste production, including green coconut waste. Sustainable development with the use of natural resources and productive processes without pollutants is becoming increasingly consolidated. In this context, several studies are carried out looking for the reuse of green coconut fruits discarded by the different productive and consumption chains. One of the alternatives to mitigate this problem is the incorporation of ceramic mass residues for the manufacture of ecological bricks used to execute masonry without a structural function in civil construction works. The soil-cement also known as ecological brick is a product resistant to curing of a compact homogeneous mixture of soil, cement, water, in proportions that guarantee mechanical resistance and wear. The manufacture of ecological bricks brings great advantages in relation to sustainability: economy, environment and social. In this perspective, this work analyzes the behavior of ecological bricks made with green coconut fiber in order to meet the requirements of ABNT NBR 8491: 2012. The levels of fiber addition to the mass used in this research were 0%, 2%, 3% and 4%, The bricks are hollow and made in size 240x120x70 mm. Technological tests of water absorption and resistance to axial compression were carried out, with a curing time of 7 days. Characterization tests on raw materials were also carried out, such as: granulometric analysis, consistency limits, HRB classification, determination of organic impurities, as well as determination of real specific mass and fiber content of fibers. The tests of resistance to compression and water absorption indicate that the best results were bricks with a 4% fiber content in the soil cement mixture, having as an environmentally friendly brick suitable for the masonry construction system without structural function.

Keywords: solid waste, green coconut fiber, soil-cement-fiber, ecological brick.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Ordem de prioridade no gerenciamento de resíduos sólidos.....	21
Figura 2	Fruto do coqueiro e seus componentes.....	24
Gráfico 1	Área colida e quantidade produzida de coco verde por região da federação.....	28
Gráfico 2	Os dez maiores produtores de coco baia da federação brasileira no ano de 2018.....	29
Figura 3	As três fases do solo.....	31
Figura 4	Índice de plasticidade.....	34
Figura 5	Mapa Zica vírus nos estados da federação Brasileira.....	39
Figura 6	Morro onde foi retirado o solo para fabricação de tijolo solo-cimento-fibra.....	41
Figura 7	Fibra de coco verde para incorporação em tijolo solo-cimento.....	43
Fluxograma 1	Metodologia adotada para a confecção dos tijolos solo-cimento-fibra...	44
Figura 8	Tabela de classificação de solos HBR/AASHO.....	47
Figura 9	Erlenmeyer utilizados para análise de impurezas orgânicas.....	48
Figura 10	Fibra de coco verde com 15-20 cm de comprimento.....	49
Figura 11	Picnômetro com fibra de coco e água destilada.....	49
Figura 12	Prensa manual SAHARA JARFEL para fabricação de tijolos solo-cimento.....	52
Figura 13	Triturador de solos JAG 500.....	52
Figura 14	Molde para fabricação de tijolo solo-cimento vazado.....	53
Figura 15	Tijolo vazado de solo-cimento.....	55
Figura 16	Ilustração do corpo de prova preparado a partir de tijolo vazado com duas metades invertidas e superpostas.....	56
Figura 17	Corpo de prova sobre a bandeja da máquina de compressão.....	56
Figura 18	Ensaio de granulometria do solo.....	58
Figura 19	Segregação de granulometria de solo miúdo por peneiramento.....	59
Figura 20	Limite de liquidez do solo.....	60
Figura 21	Tubos de ensaio com soluções para determinação de impurezas orgânicas.....	62
Figura 22	Tijolo solo-cimento incorporado com fibra sem corte.....	63
Figura 23	Tijolo solo-cimento incorporado com fibra cortada.....	64
Figura 24	Tijolos para análise dimensional.....	64
Figura 25	Fraturas do ensaio de resistência a compressão simples em tijolos de composição C1 e C4.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Principais características agrônômicas dos coqueiros gigante, anão e híbrido.....	25
Tabela 2	Produção de coco mundial, área colhida e quantidade produzida em 2010, 2016, 2017 e projeção de produção para 2018.....	27
Tabela 3	Área colhida e quantidade produzida de coco baia por região da federação em 2018.....	28
Tabela 4	Faixa granulométrica dos solos.....	32
Tabela 5	Composição granulométrica sugeridas para confecção de tijolo solo-cimento em porcentagem.....	33
Tabela 6	Especificação do solo para produção de tijolo solo-cimento em porcentagem.....	34
Tabela 7	Exigências mínimas de resistência a compressão e absorção de água....	36
Tabela 8	Modelos de tijolos solo-cimento.....	37
Tabela 9	Composição, exigências físicas, químicas e mecânicas do CP II Z-32...	42
Tabela 10	Composição dos tijolos solo-cimento-fibra em porcentagem.....	51
Tabela 11	Tipos de tijolos solo-cimento e dimensões nominais em milímetros.....	54
Tabela 12	Frações do solo no ensaio de análise granulométrica.....	61
Tabela 13	Comparação dos resultados de LL, LP, IP com a ABNT NBR 10833/2012.....	60
Tabela 14	Comparação de parâmetros solo HBR tipo A-2-4 e solo corrigido.....	61
Tabela 15	Análise dimensional dos tijolos padrão, sem adição de fibra de coco.....	65
Tabela 16	Análise dimensional dos tijolos com adição de 2% de fibra de coco.....	65
Tabela 17	Análise dimensional dos tijolos com adição de 3% de fibra de coco.....	66
Tabela 18	Análise dimensional dos tijolos com adição de 4% de fibra de coco.....	66
Tabela 19	Ensaio de absorção de água nos tijolos C1 sem adição de fibra de coco verde.....	67
Tabela 20	Ensaio de absorção de água nos tijolos C2 com adição de 2% de fibra de coco verde.....	68
Tabela 21	Ensaio de absorção de água nos tijolos C3 com adição de 3% de fibra de coco verde.....	68
Tabela 22	Ensaio de absorção de água nos tijolos C4 com adição de 4% de fibra de coco verde.....	68
Tabela 23	Ensaio de resistência a compressão simples nos tijolos sem adição de fibra.....	70

Tabela 24	Ensaio de resistência a compressão simples nos tijolos com adição de fibra a 2%.....	70
Tabela 25	Ensaio de resistência a compressão simples nos tijolos com adição de fibra a 3%.....	71
Tabela 26	Ensaio de resistência a compressão simples nos tijolos com adição de fibra a 4%.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CO ₂	Anidrido Carbônico
CP	Cimento Portland
CPs	Corpos de prova
DIO	Determinação de Impurezas Orgânicas
DMER	Determinação de Massa Específica Real
DTP	Determinação de Tamanho de Partícula
DTU	Determinação de Teor de Umidade
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
GEE	Gases do Efeito Estufa
HRB	Highway Research Board
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEP	Instituto Educacional Piracicabano
IFPE	Instituto Federal de Pernambuco
IPA	Instituto Agrônomo de Pernambuco
IP	Índice de Plasticidade
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
MgO	Óxido de Magnésio
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
NBR NM	Feita ou traduzida no Brasil e aplicada no Mercosul
PF	Perda ao Fogo
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCS	Resistência a Compressão Simples
RI	Resíduo Insolúvel
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio à micro e pequenas Empresas
SINDUSCON/PE	Sindicato da Indústria da Construção Civil em Pernambuco
Sisnama	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SO ₃	Trióxido de enxofre
Suasa	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
UNIT	Centro Universitário Tiradentes

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	OBJETIVO GERAL.....	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1	RESÍDUOS SÓLIDOS.....	19
3.2	COCO VERDE.....	23
3.3	SOLO.....	29
3.3.1	Estrutura do solo.....	31
3.3.2	Caracterização física do solo.....	31
3.3.3	Características químicas e mineralógicas.....	34
3.4	TIJOLO SOLO-CIMENTO.....	35
3.5	PROBLEMÁTICA AMBIENTAL.....	37
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
4.1	MATERIAIS.....	40
4.1.1	Solo	40
4.1.2	Cimento Portland.....	41
4.1.3	Fibra de coco verde.....	42
4.1.4	Água.....	43
4.2	MÉTODOS	43
4.2.1	Caracterização dos materiais.....	44
4.2.1.1	Caracterização do solo.....	44
4.2.1.1.1	<i>Análise granulométrica.....</i>	45
4.2.1.1.2	<i>Limite de consistência.....</i>	45
4.2.1.1.3	<i>Classificação Highway Research Board-HRB.....</i>	46
4.2.1.1.4	<i>Determinação de impurezas orgânicas.....</i>	47
4.2.1.2	Caracterização da fibra do coco verde.....	48
4.2.1.2.1	<i>Determinação de massa específica.....</i>	48
4.2.1.2.2	<i>Determinação de teor de umidade.....</i>	49
4.2.1.3	Moldagem dos tijolos de solo-cimento incorporados com e sem fibra de coco.....	50
4.2.1.4	Caracterização dos corpos de prova.....	53
4.2.1.4.1	<i>Análise dimensional dos tijolos ecológicos.....</i>	53
4.2.1.4.2	<i>Ensaio de resistência a compressão.....</i>	54
4.2.1.4.3	<i>Ensaio de absorção de água.....</i>	56

5	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	57
5.1	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	57
5.2	LIMITES DE CONSISTÊNCIA.....	59
5.3	CLASIFICAÇÃO HIGHWAY BOARD (HRB)/ASSOCIATION STATE HIGHWAY OFFICIALS (AASHO).....	60
5.4	DETERMINAÇÃO DE IMPUREZAS ORGÂNICAS.....	60
5.5	DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA E TEOR DE UMIDADE DA FIBRA DO COCO VERDE.....	61
5.6	MOLDAGEM DOS TIJOLOS.....	62
5.7	ANÁLISE DIMENSIONAL DOS TIJOLOS ECOLÓGICOS.....	63
5.8	ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	66
5.9	ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO.....	68
5.10	VALORAÇÃO DA PRODUÇÃO DE TIJOLO VAZADO SOLO- CIMENTO-RESÍDUO.....	71
6	CONCLUSÃO.....	74
	REFERÊNCIAS.....	76
	ANEXO A - Tipos de solo-cimento X aplicações.....	81
	ANEXO B - Determinação do limite de liquidez e plasticidade.....	82
	ANEXO C - Resistência a compressão simples da composição padrão C1 sem adição de fibra de coco verde.....	83
	ANEXO D - Resistência a compressão simples da composição C2 com adição de 2% de fibra de coco verde.....	84
	ANEXO E - Resistência a compressão simples da composição C3 com adição de 3% de fibra de coco verde.....	85
	ANEXO F - Resistência a compressão simples da composição C4 com adição de 4% de fibra de coco verde.....	86

1 INTRODUÇÃO

Com o constante crescimento populacional, uma das maiores preocupações da sociedade moderna está voltada para o grande volume de resíduos produzidos, que tendem a aumentar com o passar dos anos. Neste âmbito, vários estudos são realizados buscando o reaproveitamento dos materiais descartados pelas diferentes cadeias produtivas e de consumo. Uma das alternativas para atenuação deste problema é a incorporação desses resíduos em massas cerâmicas para a fabricação de produtos voltados para a construção civil.

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), destaca crescimento na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil. Entre os anos de 2017 e 2018, a população brasileira apresentou um crescimento de 0,40%, junto a isso a geração per capita de RSU apresentou aumento aproximado a 0,39%. Cada brasileiro gerou pouco mais de 1kg/dia de resíduos, atingindo 216.629 toneladas diárias de RSU no país (ABRELPE, 2019).

A situação problema abordada nesta pesquisa é o resíduo urbano do coco verde, como ele pode ser aproveitado na construção civil, garantindo ecoeficiência, de modo que venha atender a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/10, proporcionando uma gestão ambiental adequada, englobando questões referentes ao tripé da sustentabilidade, ambiental com a destinação adequada do resíduo, provendo aumento do tempo de vida útil dos aterros sanitários, redução nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) e utilização de eco materiais na construção civil, econômico com a redução do custo da fabricação do material e social por meio da geração de empregos necessários para a mão de obra na fabricação dos tijolos.

Um dos resíduos produzidos na maioria das cidades litorâneas é o do coco verde *in natura*. O cultivo deste produto é considerado de grande relevância para atividades agrícolas no mundo, por sua geração de emprego e renda em toda cadeia produtiva, além da sua relevância como fonte nutricional e quantidade de produtos e subprodutos oriundos do fruto (CUENCA, 1998).

Devido às suas características físico-químicas, este resíduo apresenta grande potencial para reciclagem, como exemplo, em material cerâmico, estando em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos Lei nº 12.305/10 que tem como princípios e objetivos: o reconhecimento do resíduo sólido como reutilizável e reciclável de bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania; a adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais e cita

prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para produtos reciclados e recicláveis; integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (BRASIL, 2010).

As mudanças climáticas, o desequilíbrio ecossistêmico e os desastres ambientais têm suscitado o interesse de pesquisadores e da sociedade como todo, para a busca de novas tecnologias que utilizem recursos naturais renováveis em substituição a matérias que degradem o meio ambiente. Posto isso, as fibras lignocelulósicas passaram a desempenhar um papel relevante nessa procura, com o intuito de conciliar tecnologia e preocupação ambiental (REDD, 2003).

À medida que a densidade demográfica aumenta, junto a ela cresce a necessidade de moradias, e a utilização de materiais de construção civil, que de certa forma, não contribuam com a perda da qualidade ambiental. Diante disto faz-se necessário a busca de novos materiais com perfil sustentável, os quais utilizem a reciclagem de resíduos, mantendo o desempenho exigido e que sejam economicamente exequível e socialmente favoráveis.

A utilização da fibra do resíduo do coco verde como matéria-prima na fabricação de tijolos solo-cimento contribui para o desenvolvimento sustentável, evitando que os recursos ambientais sejam dilapidados ao serem utilizados em grande escala, impactando negativamente na qualidade de vida das futuras gerações. O atendimento das necessidades humanas, dentre elas a de habitação, precisam de soluções inteligentes para que a sociedade organize ambientes com qualidade técnica, ambiental e de custo acessível.

Os processos de fabricação do tijolo solo-cimento harmonizam-se com os princípios de sustentabilidade, sendo um produto ambientalmente correto, seguro e culturalmente aceito. Sua utilização em construções é uma técnica antiga, sendo atualizada por pesquisas que otimizam os processos produtivos e a qualidade do material, viabilizando seu uso para construção de alvenarias, moradias e outros tipos de edificações. Ademais, a responsabilidade com o meio ambiente necessita de processos produtivos que ofereçam soluções de natureza sustentável para a sociedade.

Dois aspectos foram adotados como motivadores para o desenvolvimento da pesquisa: a necessidade de novos estudos sobre a reciclagem do resíduo do coco verde e a necessidade e pesquisas que assegurem esta reciclagem em tijolos solo-cimento, ambos contribuindo com a gestão ambiental do resíduo.

Nesta pesquisa foi estudada a viabilidade técnica e ambiental da incorporação do resíduo de cascas de coco aos tijolos solo-cimento. A metodologia empregada foi a de caracterização

dos materiais, confecção dos tijolos, prensagem, cura e caracterização do produto, o tijolo. Os resultados obtidos na pesquisa visam contribuir com a destinação ambientalmente correta do resíduo e a construção de parâmetros a serem comparados e aprimorados com estudos futuros.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade da utilização da fibra do resíduo do coco verde numa mistura de solo-cimento, visando proporcionar uma matéria-prima alternativa para produção do tijolo ecológico e a destinação ambientalmente adequada do resíduo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar as matérias-primas utilizadas: solo, cimento e fibra de coco;
- Avaliar o comportamento físico e mecânico das misturas de solo-cimento, com adição da fibra do coco verde, em tijolos vazados, através de ensaios de análise dimensional, resistência à compressão e absorção de água;
- Determinar qual o melhor percentual de incorporação da fibra do coco em massa levando em consideração o traço mais econômico, de modo a maximizar a incorporação do resíduo, sem prejuízo à qualidade do produto;
- Analisar a relação custo/benefício referente à produção de tijolos ecológicos a partir das formulações produzidas, quando comparado ao tijolo solo-cimento existente no mercado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

Questões relacionadas aos resíduos sólidos são atualmente, um dos maiores problemas ambientais enfrentados pela sociedade. Quando geridos e gerenciados de forma adequada, estes resíduos podem adquirir valor comercial, sendo reintroduzido como matéria-prima no mercado, potencializando a área social, ambiental e econômica. A população cada vez mais vem consolidando seu comportamento consumista seguindo o estilo de vida da economia linear (produzir, consumir e descartar), o que implica em uma enorme produção de lixo.

Os sistemas adotados pela maioria dos gestores tanto de iniciativas públicas quanto privadas, para a administração de resíduos, é o de inesgotabilidade dos recursos naturais, o que necessita de uma mudança de visão, passando esta para uma ótica do desenvolvimento sustentável. Outro ponto relevante que precisa de mudança é a noção da sociedade pela responsabilidade do lixo: ela não se encerra apenas com o descarte, quando o lixo é colocado para a coleta municipal. Para todas essas mudanças, serão necessárias adaptações nos hábitos de consumo (RODRIGUES; MENTI, 2016).

A lei nº 12.305 de 2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a qual estabelece princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para gestão integrada e gerenciamento de resíduos, as responsabilidades atribuídas ao poder público, geradores e aos instrumentos econômicos aplicáveis, traz com ela os conceitos de resíduos sólidos e de rejeitos.

Resíduo sólido é caracterizado como material ou bem descartado que seja proveniente de atividades humanas em sociedade, da qual a destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigada a proceder nos estados sólido ou semissólido, incluindo gases armazenados em recipientes e líquidos em que suas particularidades o torne inviável para lançamento em corpos hídricos ou na rede pública de esgoto, ou exijam para o lançamento soluções técnica ou economicamente inviáveis diante da melhor tecnologia disponível. Rejeitos são caracterizados como resíduos sólidos que se esgotaram todas as possibilidades de tratamento e recuperação por meio de processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, apresentando somente a possibilidade da disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

De forma complementar a lei é utilizada a definição estabelecida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 10.004 (2004), onde define resíduos sólidos

como: resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição e outros resíduos em particular. Por esta definição o resíduo coco, objeto trabalhado nesta pesquisa, pode ser de origem agrícola ou comercial sendo classificado como Classe II A – não inerte, que são aqueles resíduos que, quando submetidos a água destilada ou desionizada, em condições de contato estático ou dinâmico a temperatura ambiente, solubilize algum de seus componentes em concentrações superiores que venha a interferir na potabilidade da água, podendo apresentar propriedades de biodegradabilidade e combustibilidade.

Um dos instrumentos mais importante de planejamento participativo para o desenvolvimento sustentável, Agenda 21 (ONU, 1995) sugere que, a sociedade busque desenvolver uma gestão eficaz para lidar com a problemática da disposição cada vez maior de resíduos. Todas as partes interessadas tais como governo, indústrias, população e o público em geral, devem unir esforços para amenizar a geração de resíduos e de produtos descartados.

Entre os resíduos urbanos e agrícolas descartados no Brasil, estão aqueles oriundos da cocoicultura. O coqueiro gera grande quantidade de resíduos como cascas e endocarpo dos frutos (NUNES, 2018). O coco constitui aproximadamente 70% dos resíduos produzidos pelas orlas marítimas Brasileiras. Ambientalmente o fruto necessita de uma destinação mais adequada que a disposição em aterros sanitários, requerendo estudos que sustentem o aproveitamento como matéria prima para aplicações sócio-ambientalmente corretas, promovendo reuso, reciclagem e aumentando a vida útil dos aterros sanitários (NETO *et al*, 2010).

Ainda de acordo com a PNRS, a disposição de resíduos, como as cascas de coco, em aterros sanitários, é proibida por ser um material de difícil decomposição, podendo levar de 8 a 10 para sua degradação e que ocupa grandes volumes, sendo um material apto a reciclagem, uma vez que, o descarte é realizado de forma inadequada ocasionando cada vez mais problemas do ponto de vista ambiental (MARAFON; AMARAL; LEMOS, 2019).

A PNRS, estabelece uma ordem de priorização para gerenciamento de resíduos sólidos, com a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final (Figura 1).

Figura 1 – Ordem de prioridade no gerenciamento de resíduos sólidos.



Fonte: adaptado PNRS, 2010.

Como a não geração e minimização implicariam na redução do plantio, colheita, armazenamento, comércio e perdas econômicas para toda a cadeia produtiva, o seu aproveitamento e reciclagem torna-se uma necessidade, incentivando a realização de estudos visando à caracterização e utilização da fibra do coco verde. Entende-se como reciclagem, a transformação de um resíduo sólido que envolva a modificação de suas propriedades físicas, físico-químicas e biológicas, com objetivo de inseri-los no processo produtivo, transformando-os em insumos ou novos produtos, levando em conta as condições e padrões estabelecidos pelo Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) e, se couber, Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e Sistema Unificado de Atenção e à Sanidade Agropecuária (Suasa) (BRASIL, 2010). Como pontos de interação entre a reciclagem de resíduos e a lei nº 12.305, tem-se:

Art. 6º Referente aos princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

III - a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;

IV - o desenvolvimento sustentável;

V - a ecoeficiência mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;

VI - A cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais

segmentos da sociedade;

VII - A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

VII - o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania.

Art. 7º Referente aos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

I - proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;

II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;

III - estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;

IV - adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;

VI - incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;

VII - gestão integrada de resíduos sólidos;

VIII - articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;

IX - capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos;

XI - prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para:

a) produtos reciclados e recicláveis;

b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;

XII - integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

XIII - estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto;

XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético.

Art. 8º Referente aos instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, entre outros:

IV - o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;

V - o monitoramento e a fiscalização ambiental, sanitária e agropecuária;

VI - a cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos;

VII - a pesquisa científica e tecnológica;

X - o Fundo Nacional do Meio Ambiente e o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico;

XVI - os acordos setoriais;

XVII - no que couber, os instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente, entre eles: a) os padrões de qualidade ambiental;

d) a avaliação de impactos ambientais.

Das diretrizes aplicáveis aos resíduos sólidos:

Art. 9º Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

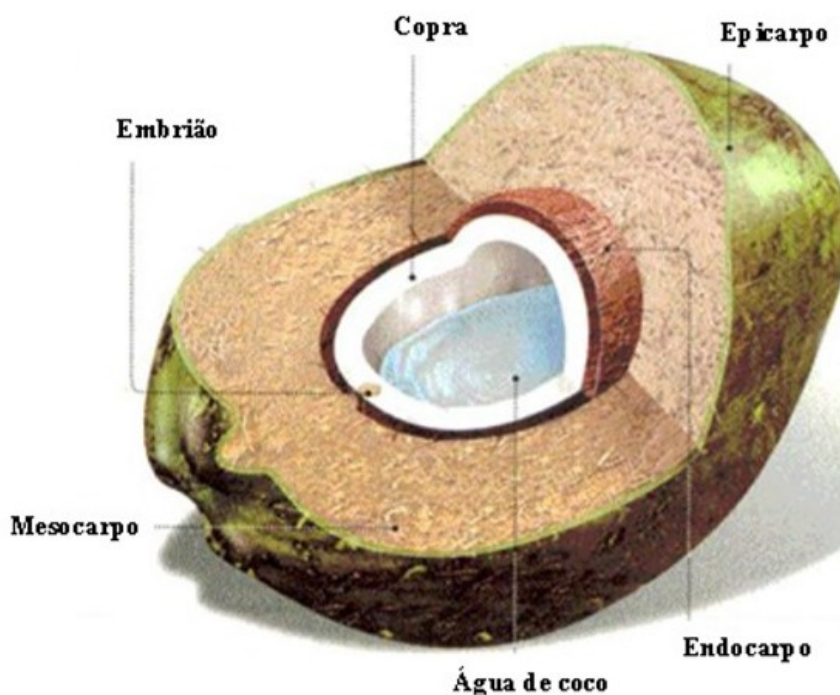
Todos os artigos e incisos supracitados, reforçam e favorecem a prática da reciclagem de resíduos como forma viável de gestão ambiental, promovendo um meio ambiente equilibrado e desenvolvimento sustentável. Contudo, a prática do manejo ambientalmente adequado dos resíduos sólidos caracteriza-se como uma importante ferramenta de preservação do meio ambiente, assim como de promoção e proteção da saúde da população.

3.2 COCO VERDE

O fruto oriundo do coqueiro (*Cocos nucifera L.*) também conhecido como coco da baía, oriundo da família Palmae (palmeira), é formado a partir de uma semente chamada drupa, sua composição se dá por uma sequência de camadas denominadas epicarpo, camada externa superficial pouco espessa e lisa que forma a sua casca; mesocarpo, camada intermediária de característica fibrosa de onde é extraída a fibra; endocarpo, uma camada lenhosa e rígida e a parte central chamada de albúmem sólido, parte do fruto de maior valor

no mercado junto com a água do coco (Figura 2). O fruto possui peso médio de 1,4kg e a quantidade de água diminui com seu amadurecimento. (BRAINER, 2018).

Figura 2 – Fruto do coqueiro e seus componentes.



Fonte: MATTOS *et al*, 2011.

O Brasil vem explorando desde 1553 três variedades de coqueiros, são eles: o coqueiro gigante, o coqueiro anão e o coqueiro híbrido (IPA, 2017; SEBRAE, 2016).

- Coqueiro gigante: também conhecido como coqueiro de praia é uma planta de grande porte, podendo atingir até 35 metros de altura, mais utilizado para fornecimento de polpa (copra) para indústria de produtos derivados do fruto, como coco ralado e leite de coco, possui produção média de 70 frutos da planta por ano.
- Coqueiro anão: planta de pequeno porte, atingindo até 12 metros de altura, sua utilização principal é para o consumo da água do coco *in natura* ou envasada por processos industriais, possui produtividade de 120 frutos da planta por ano.
- Coqueiro híbrido: também conhecido como anão-gigante é uma planta de médio porte, atingindo até 20 metros de altura, possui dupla finalidade de uso, tanto para o consumo da água quanto para o fornecimento à indústria. Sua produtividade pode chegar a 150 frutos da planta por ano.

A utilização e finalidade para cada tipo de fruto do coqueiro é determinada por uma série de características particular a cada variedade, como exemplificada na tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Principais características agronômicas dos coqueiros gigante, anão e híbrido.

Características	Variedade de coqueiros		
	Gigante	Anão	Híbrido
Floração (ano)	2 a 3	3 a 4	5 a 7
Vida útil (ano)	30 a 40	50 a 60	60 a 80
Tamanho do fruto	pequeno	intermediário	Grande
Crescimento	lento	intermediário	Rápido
Porte (m)	10	20	35
Nº de plantas por hec.	205	160	142
Produção de frutos (frutos/planta/ano)	150 a 200	130 a 150	60 a 80
Peso do fruto (g)	900	1200	1400
Peso da noz (g)	550	700	800
Peso albúmen (g)	250	400	350
Teor médio de óleo (%)	25,41	66,01	67,02
Produção de água (ml)	200 a 300	400 a 550	≥ 500
Destino produção	In natura Agroindústria	In natura Agroindústria	In natura Agroindústria

Fonte: Adaptado de MARTINS e JESUS JÚNIOR, 2014.

O coco possui três variedades distintas de fibra: branca longa, marrom longa e curta. A fibra branca é extraída da casca do coco verde com 8 a 10 meses de idade pelo processo natural de retificação. Já a fibra marrom é obtida da casca de coco maduro com aproximadamente 12 meses de idade por meio de processos mecânicos, um terço do material fibroso marrom é composto por fibras longas e dois terços de fibras curtas. (CORREIA, 2012).

As fibras de coco possuem grande aplicabilidade na indústria, por serem composta basicamente de lignina de difícil decomposição. São utilizadas na fabricação de carpetes, estofado de carros, placas de isolamento térmico e acústico, cordas, biomantas para contenção de erosão laminar, entre outras funcionalidades. O processamento desta fibra gera uma quantidade relevante de novos resíduos. O pó originado da trituração pode ser utilizado para produção de compostos orgânicos ou substratos agrícolas. O endocarpo comumente conhecido como “quenga” é amplamente utilizado para produção de bijuterias e artesanatos em geral. Todos os resíduos oriundos do coqueiro podem ser transformados em adubo orgânico por meio de compostagem aeróbica em leiras ou laminar (NUNES e SANTOS, 2009).

A análise do comportamento histórico da produção de coco verde no Brasil, apresenta forte crescimento. Esta ampliação decorre da introdução de todo um aparato tecnológico que passou a ser imprescindível para modernizar a produção e elevar a produtividade dos coqueiros, grande parte voltada a atender as necessidades do aquecido mercado da comercialização da água do coco (CAVALCANTE, 2018). No caso do fruto imaturo para consumo da água e produção de óleo, 80% a 85% do peso bruto é descartado como rejeito, não vindo a ser aproveitado pela indústria de beneficiamento de fibras.

A busca pela utilização da fibra do coco em materiais compósitos (combinações de materiais distintos para obtenção de um produto de maior qualidade), ocorre em razão do interesse por produtos de cunho ecológico, proveniente de fonte renovável, biodegradável, de baixo custo, suas propriedades oferecerem diversas alternativas de reuso e reciclagem. Excelente alternativa de reforço por sua elevada resistência e rigidez, detém grande durabilidade, devido ao elevado teor de lignina e polioses, baixo teor de celulose, elevado ângulo espiral em relação a outras fibras naturais, o que lhe atribui um comportamento diferenciado. Apresenta valores baixos de densidade, resistência à tração e módulo de elasticidade (MATTOS *et al*, 2011).

Segundo Carrijo *et al.* (2002), apesar do coco ser um resíduo orgânico, possui difícil degradação, e pode levar mais de oito anos para se decompor por completo. Para Silva *et al.* (2008) o coco é um recurso natural com um grande potencial de aproveitamento, mas que ainda não é tratado como resíduo, passível de destinação final adequada, resultando em desperdício, chamando atenção para a necessidade de novos estudos para melhoria de ciclo de produção, uso e descarte.

O Brasil possui cerca de 200 mil hectares de área plantada de coco-de-baía (*Cocos nucifera*), distribuídos em todas as regiões, com quantidade produzida de 1.564.500 toneladas, gerando um rendimento médio de 7.873 kg/hectare para o ano de 2018 (IBGE, 2019). Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAOSTAT, 2018), no ano de 2017 o Brasil encontrava-se em quinto lugar em produção e área colhida dos principais países produtores de coco, antecedido por Indonésia, Filipinas, Índia e Sri Lanca (Tabela 2). Com 2,6% de área cultivada, contribuindo com 15,3% da produção mundial devido a sua elevada produtividade (BRAINER, 2017).

Tabela 2 – Produção de coco mundial, área colhida e quantidade produzida em 2010, 2016, 2017 e projeção de produção para 2018.

Produtores mundiais	Área colhida				Quantidade produzida				
	Mil hectares		Variação %		Milhões de toneladas			Variação %	
	2010	2016	2017	10-17	2010	2016	2017	Projeção 2018	10-17
Indonésia	2.980	3.150	3.260	9,4	18,00	17,96	18,98	19,13	5,5
Filipinas	3.576	3.565	3.612	1,0	15,51	13,83	14,05	13,85	-9,4
Índia	1.896	2.082	2.081	9,8	10,84	11,17	11,47	11,56	5,8
Sri Lanca	395	409	409	3,6	1,99	2,52	2,58	2,67	29,4
Brasil	275	234	216	-21	2,84	2,65	2,34	2,28	-17,6
Vietnã	140	147	148	5,6	1,16	1,47	1,50	1,55	29
Papua n. Guiné	221	206	205	-7,3	1,21	1,18	1,20	1,20	-0,6
México	179	183	184	2,7	1,13	1,16	1,16	1,16	2,4
Tailândia	231	190	192	-17	1,30	0,90	0,90	0,85	-31,1
Demais Países	1.889	1.999	2.032	7,6	6,38	6,91	6,92	7,00	8,4
Total mundial	11.782	12.165	12.339	4,7	60,37	59,75	61,10	61,27	1,2

Fonte: adaptado, FAOSTAT, 2018.

Já dados publicados pelo IBGE posteriormente aos da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação em 2017, mostram que a área colhida (hectares) e a quantidade produzida (toneladas) de coco no Brasil nos anos de 2018 foram a de 198.715

hectares e 1,56 toneladas, respectivamente, variando 31,58% da quantidade estimada para o ano de 2018 na pesquisa supracitada (IBGE, 2019).

Apesar do cultivo do coco ser distribuído em várias regiões, a produção está concentrada na faixa litorânea, a região nordeste é a principal produtora de coco no país, cuja evidência na produção foi conquistada desde os primeiros cultivos do coqueiro no Brasil e que ainda vem se mantendo, com área colhida de 161.627 hectares e quantidade produzida do fruto de 1.114.359 toneladas (Tabela 3). Este fato ocorre devido às condições edafoclimáticas favoráveis da região para o cultivo, tropicalidade climática, solos arenosos, intensa radiação solar, umidade e boa precipitação e a cultura do consumo da água do coco.

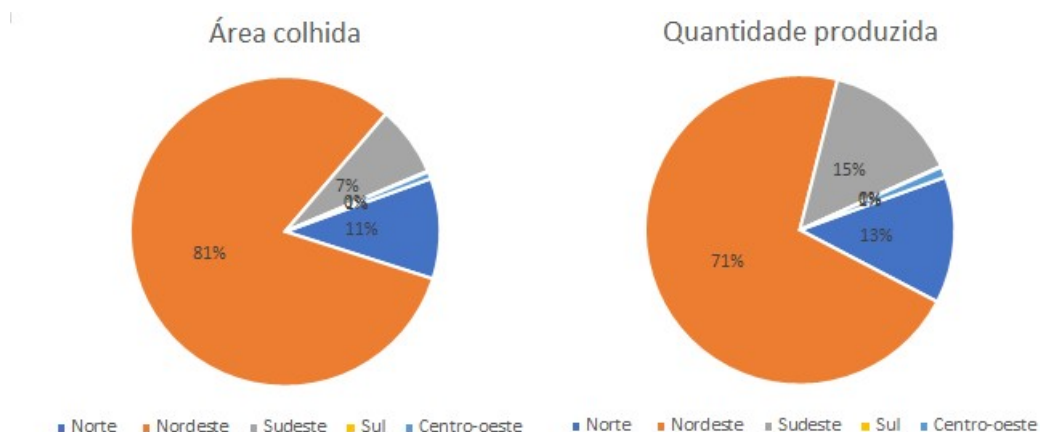
Tabela 3 – Área colhida e quantidade produzida de coco baia por região da federação em 2018.

Região	Área colhida (hectares)	Quantidade produzida (toneladas)
Norte	20,857	206,954
Nordeste	161,627	1 114,359
Sudeste	14,573	224,153
Sul	244	1,862
Centro-oeste	1,414	17,172
Total	198,715	1 564,500

Fonte: IBGE, 2019.

Nessa Região concentram-se 81,33% da área colhida e 71,22% da produção brasileira (GRÁFICO 1).

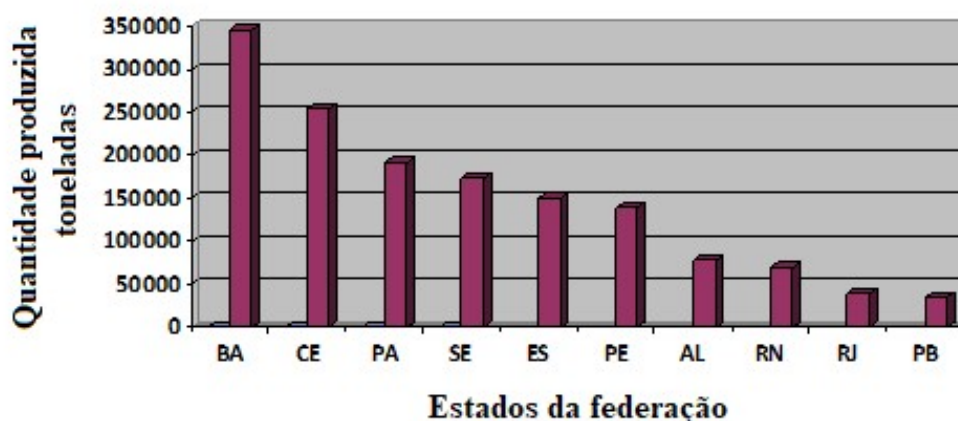
Gráfico 1 – Área colhida e quantidade produzida de coco verde por região da federação.



Fonte: adaptado IBGE, 2019.

Dentre os 10 maiores produtores do país, 7 encontram-se na região nordeste, sendo estes o estado da Bahia, Ceará, Sergipe, Pernambuco, Alagoas, Rio Grande do Norte e Paraíba. (GRÁFICO 2).

Gráfico 2 – Os dez maiores produtores de coco baia da federação brasileira no ano de 2018.



Fonte: adaptado IBGE, 2019.

Pernambuco é o sexto maior estado no ranque de produção nacional do fruto, porém, dentre os outros, é o estado que alcançou o maior rendimento em 2018, chegando a 18.859 quilogramas por hectare, em virtude, principalmente, da produção localizada no Vale do São Francisco. Nesse mesmo ano, colheu-se uma área de 7.398 hectares com produção de 139.516 toneladas de frutos (IBGE, 2019).

3.3 SOLO

O solo pode ser definido como uma coleção de corpos naturais, constituídos por matérias sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que envolvem a maior parte do manto superficial das extensões continentais do planeta terra. Neste se abriga matéria viva podendo ser vegetados na natureza onde ocorrem e, comumente modificados por interferências antrópicas. Apresenta seções paralelas, sobrepostas em camadas ou horizontes, que diferem do material original, diferença essa resultante de adições, perdas, translocações e transformações de matéria e energia, sofridas com o passar do tempo e influenciadas pelo clima, organismos e relevo (EMBRAPA,

2006).

No ramo da Engenharia, solo é o termo dado a todo material da crosta terrestre proveniente da decomposição das rochas, constituído por atributos que podem ser de maioria minerais e/ou orgânicos, dependendo da composição química e mineralógica da rocha de origem, das características do relevo, clima e do tempo de exposição às intempéries. A classificação dos solos, por meio de suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas são analisadas de acordo com os fundamentos da Ciência dos Materiais, tanto no campo da Geologia, da Mecânica dos Solos e Fundações, como da Construção civil (PROTERRA, 2005). Essa classificação pode ser:

- Classificação genética: solo pedogenético, solo saprolítico, solo transportado;
- Classificação granulométrica: arenoso, argiloso, silto;
- Classificação pedológica: horizontes - superficial, subsolo e rocha mãe.

As propriedades mais importantes dos solos visando seu uso na construção depende da seleção do solo de acordo com sua composição química/mineralógica e granulométrica, plasticidade e retração, na fase de controle da execução são umidade e grau de compactação.

O solo também pode ser definido como um conjunto de camadas sobrepostas de aspecto e constituição diferentes, chamadas de horizontes (LEPSCH, 2010). Os horizontes são seções de constituição mineral ou orgânica, à superfície do terreno ou aproximadamente paralela a esta, parcialmente exposta no perfil e dotada de características geradas pela ocorrência de processos formadores do solo que lhe propicia inter-relacionamento com os diversos horizontes integrantes do perfil, dos quais se distinguem pela diversidade de propriedades, resultantes da ação da pedogênese (SOIL SURVEY MANUAL, 2017).

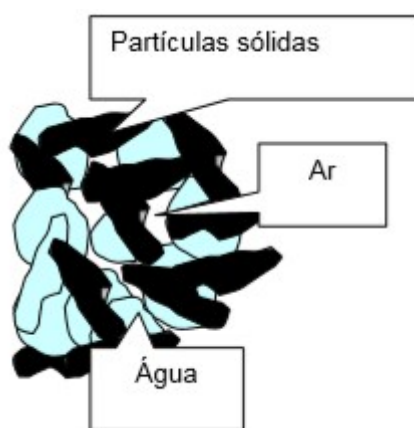
O estudo das características do solo define, qualitativa e quantitativamente, propriedades físicas, químicas e mineralógicas, bem como sua medição, predição e controle, com o objetivo de entender e harmonizar os mecanismos que governam a funcionalidade dos solos e seu papel na fabricação de produtos como o tijolo solo-cimento. A importância prática de se entender o comportamento do solo está associada ao seu uso e manejo apropriado, ou seja, orientar o melhor tipo de solo para a modalidade empregada.

O solo é o material de maior proporção na mistura utilizada para fabricação de materiais de solo-cimento. De modo geral, qualquer solo pode ser utilizado, desde que não seja predominantemente composto por matéria orgânica, porém deve ser escolhido de modo que a quantidade de cimento a ser utilizada para estabilização seja a menor possível, viabilizando o custo final do produto (ABCP, 2018).

3.3.1 Estrutura do solo

A estrutura do solo concerne ao agrupamento e organização de suas partículas. Sendo esses constituídos por um sistema trifásico formado por uma mistura de partículas sólidas (mineral e orgânica), ar e água. As partículas da fase sólida variam em relação a tamanho, forma e composição química. Seu arranjo nas várias configurações possíveis forma a chamada matriz do solo. Sendo o solo um corpo natural organizado que ocupa dado espaço, a matriz do solo forma a porosidade dos solos (Figura 3).

Figura 3 - As três fases do solo.



Fonte: Almeida, 2005.

A fase sólida é formada por agregados minerais, podendo conter ou não a presença de matéria orgânica. As principais características a observar nessa fase são: tamanho, peso específico, forma e composição química. A fase líquida atribui grande parte das propriedades e do comportamento do solo. A água interage física e quimicamente na composição de minerais argilosos, faz parte da composição das pressões a que um solo fica submetido, interfere na consistência e no peso específico. A fase gasosa é constituída por ar, vapor d'água e carbono combinados (ALMEIDA, 2005).

3.3.2 Características físicas do solo

Uma das características físicas analisadas em solo é a composição granulométrica. O solo é formado por várias faixas granulométricas e essa composição é empregada quando se faz referência as frações ou partículas do solo como um todo, incluindo desde as mais finas

como as argilas, até as mais grosseiras como os pedregulho. A ABNT NBR 6502 (1995) especifica a fração das partículas e seus diâmetros (Tabela 4).

Tabela 4 - Faixa granulométrica dos solos

Fração	Diâmetro (mm)
Pedregulho	60 - 2
Areia grossa	2,00 – 0,60
Areia média	0,60- 0,20
Areia fina	0,20 – 0,06
Silte	0,06 - 0,002
Argila	<0,002

Fonte: ABNT NBR 6502, 1995.

As faixas granulométricas do solo coletado irão determinar diretamente a qualidade do tijolo de solo-cimento-resíduo. De acordo com o manual técnico de pedologia, IBGE (2007), pedregulho e areia, são sólidos de quartzo com formas arredondadas ou angulares e com rugosidade superficial, que mobilizam o atrito interno entre os grãos, proporcionando maior resistência aos esforços mecânicos.

O silte são sólidos de forma achatada ou poliédrica com nenhuma ou baixíssima plasticidade que confere redução do atrito interno devido ao rearranjo das partículas ao sofrer compactação. As argilas são argilominerais com partículas lamelares ou alongadas e quimicamente ativas. Possuem grande superfície específica, alto grau de plasticidade e em sua grande maioria são constituídas por três frações principais: caulinita, ilita e montmorilonita.

Na literatura, diferentes autores chegaram a diferentes percentuais de faixas granulométricas recomendadas para a modalidade solo-cimento. A Portland Cement Association (PCA, 1969), considera excelente os solos arenosos e pedregulhos, compostos de 65 a 90% de areia e quantidade de silte mais argila entre 10 a 45%. Para Silva *et al.* (2008) a composição deve ser de 15% silte e argila, 20% de areia fina, 30% de areia grossa e 35% de pedregulho, justificado pelo uso de pouca quantidade de cimento. A cartilha produção de tijolos de solo-cimento do Instituto Educacional Piracicabano (IEP, 2016), considera como solo ideal para confecção de tijolos solo-cimento aqueles que apresentam em sua composição 50% de areia, 25% de silte e 25% de argila. A SAHARA – Indústria e comércio de máquinas Ltda (2019) recomenda a utilização de um solo com 70% de areia e 30% de argila, de modo a

minimizar o teor de cimento (TABELA 5).

Tabela 5 – Composição granulométrica do solo sugeridas para confecção de tijolo solo-cimento em porcentagem.

Autores	Pedregulho	Areia fina	Areia grossa	Silte	Argila
PCA,1969	-	65-90		10-45	
Silva, 2008	35	30	20	15	
IEP, 2016	-	50		25	25
SAHARA, 2019	-	70		-	30

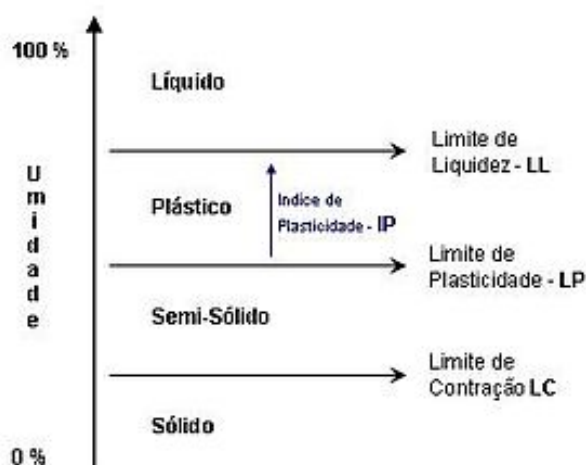
Fonte: autora, 2019.

Todavia, solos que não atendam a essas características devem ser corrigidos granulometricamente, mediante a adição de outro tipo de solo que complete as necessidades elencadas acima, visando um solo final que tenha viabilidade técnica e econômica.

Outra característica física importante para análise do solo é quanto à sua plasticidade, que é a capacidade do solo ser moldado sob certas condições de umidade. Para tanto, utiliza-se os limites de consistência do solo (limites de Atterberg), composto pelo limite de plasticidade (LP), teor de umidade abaixo do qual o solo torna-se quebradiço, adquirindo uma condição semi-plástica e o limite de liquidez (LL), teor de umidade correspondente à transição entre a consistência fluida (teor de umidade acima do LL) e a de consistência plástica (teor de umidade abaixo do LL e acima do LP) gerando o índice de plasticidade (IP).

$$IP = LL - LP \quad (1)$$

Este índice indica a maior ou menor plasticidade de um solo conforme sua umidade, obtido pela diferença numérica entre LL e LP de acordo com a equação 1 (CAPUTO, 1988), Ilustrada na Figura 4.

Figura 4 - Índice de plasticidade.

Fonte: adaptado Caputo, 1988.

Para a confecção de tijolo solo-cimento as características devem atender os seguintes índices de plasticidade e limite de liquidez (Tabela 6):

Tabela 6 - Especificação do solo para produção de tijolo solo-cimento em porcentagem.

Variantes	Valores
% passando na peneira 4,8 mm	100
% passando na peneira 0,075 mm	10 a 50
Limite de liquidez	≤ 45
Índice de plasticidade	≤ 18

Fonte: ABNT NBR 10833, 2012.

3.3.3 Características químicas e mineralógicas

Os solos são constituídos por matéria orgânica, minerais, água e ar, sendo variáveis a depender do tipo e da ação sofrida com o passar do tempo. Seus constituintes minerais são oriundos da rocha a que deu sua origem, sendo esses, primários ou secundários, decompostos ou recompostos após a intemperização dos minerais da rocha-mãe. Os minerais quartzo, mica, zircão, turmalina, magnetita, ilmenita e hornblenda são do tipo primários, já os minerais

secundários são óxidos de ferro e partículas de sílica amorfa (LEPSCH, 2010).

A maioria das reações ocorridas entre a interação solo-água está diretamente ligada à atividade das partículas do solo, que decorre da superfície específica, sendo tanto maior quanto menores forem essas partículas. Pode-se afirmar então que a fração composta de areia é inativa, a fração de silte pode vir a apresentar alguma atividade e a fração argilosa é a mais ativa quimicamente e a principal protagonista dos fenômenos físico-químicos que ocorrem no solo (PESSOA, 2004).

3.4 TIJOLO SOLO-CIMENTO

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), tijolo solo-cimento é o material de mistura homogênea, resultante da compactação, curada de solo, cimento e água em proporções adequadas, podendo ser acrescentado um quarto elemento, o resíduo. A depender da proporcionalidade de cada componente, o produto resultante deste processo é um material com boa resistência à compressão, bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade.

O solo é o componente mais utilizado para a confecção do solo-cimento. O cimento entra em pequena quantidade, o suficiente para estabilizá-lo e conferir as propriedades de resistência desejadas para o material final (ABCP, 2018). Praticamente todo tipo de solo pode ser utilizado para sua confecção, excetuando-se os solos ricos em matéria orgânica (solo de cor preta), sendo recomendado solos com teor de areia predominante.

A prática da utilização do solo-cimento no Brasil começou no ano de 1936, incentivada pela (ABCP). O uso na construção de habitações foi datado em 1948, podendo ser empregado de duas formas: em paredes monolíticas, tijolos ou blocos prensados. As paredes monolíticas são compactadas no próprio local, em camadas, verticalmente, com auxílio de formas e guias. O processo é semelhante ao de construção com taipa, formando painéis inteiriços, sem juntas horizontais. Os tijolos e blocos de solo-cimento são produzidos em prensas hidráulicas ou mecânicas, sendo atribuído a ele valor ecológico por dispensar a queima e o uso de combustível, eliminando emissão de monóxido de carbono na atmosfera (MOTTA, 2014).

Os tijolos solo-cimento devem atender exigências estabelecidas pela ABNT NBR 8491:2012 que dispõe sobre os requisitos para o recebimento de tijolos solo-cimento destinados à execução de alvenaria sem função estrutural, com o tempo mínimo de 14 dias de idade. Segundo a norma, o material deve apresentar as seguintes especificações (Tabela 7) que

o habilitam para serem utilizados em construções habitacionais:

Tabela 7 - Exigências mínimas de resistência a compressão e absorção de água







Valores-limite (7 dias)	Média	Individual
Resistência à compressão (MPa)	$\geq 2,0$	$\geq 1,7$
Absorção de água (%)	≤ 20	≤ 22

Fonte: ABNT NBR 8491, 2012.

Obs: a norma preconiza 7 dias como a idade mínima para realização dos ensaios de resistência à compressão e absorção de água, 14 dias como idade mínima para utilização do tijolo solo-cimento para execução de alvenaria.

No Brasil são produzidos vários modelos de tijolo solo-cimento, o quais são escolhidos de acordo com a necessidade do projeto. Os modelos mais utilizados estão exemplificados a seguir na tabela 8:

Tabela 8 - Modelos de tijolos solo-cimento.

TIPO	DIMENSÕES	USO	EXEMPLO
Tijolo maciço comum	(5 x 10 x 20) cm	alvenaria semelhante ao tijolo convencional	
Tijolo maciço com encaixe	(5 x 10 x 21) cm	Assentamento com baixo consumo de argamassa	
½ tijolo com encaixe	(5 x 10 x 10,5) cm	Elemento para conectar as juntas e amarrações sem necessidade de quebras.	
Tijolo com dois furos (vazado)	(5 x 10 x 20) cm (7 x 12,5 x 25) cm (7,5 x 15 x 30) cm	Assentamento a seco, com cola rança ou argamassa plástica.	
½ tijolo com furo e encaixe	(5 x 10 x 10) cm (7 x 12,5 x 12,5) cm (7,5 x 15 x 15) cm	Elemento para conectar as juntas e amarrações sem necessidade de quebras.	
Caneletas	(5 x 10 x 20) cm (7 x 12,5 x 25) cm (7,5 x 15 x 30) cm	Empregado em execução de vergas, reforços estruturais, cintas de amarração e passagem de tubulações horizontais	

Fonte: adaptado Lima, 2010

3.5 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

Apesar da produção do coco e de sua importância para a economia, principalmente para as cidades litorâneas e turísticas, deve-se considerar os problemas gerados ao meio ambiente decorrentes desta comercialização. O resíduo muitas vezes é disposto em locais inapropriados como encostas, praias ou passeio público à espera da coleta municipal, e quando coletado seu destino é o aterro sanitário. Essas práticas promovem a degradação, aumenta a poluição visual dos espaços públicos, contribui com a proliferação de vetores e obstrução das redes de drenagem urbana (SILVEIRA, 2008).

Daltoé (2015) defende que o entupimento das redes pluviais de drenagem urbana causa alagamentos nas cidades e diminuição da qualidade da água, resultante da deposição de material orgânico e à proliferação de microrganismos, criando ambiente ideal para aumento de vetores, como ratos, mosquitos e outros insetos.

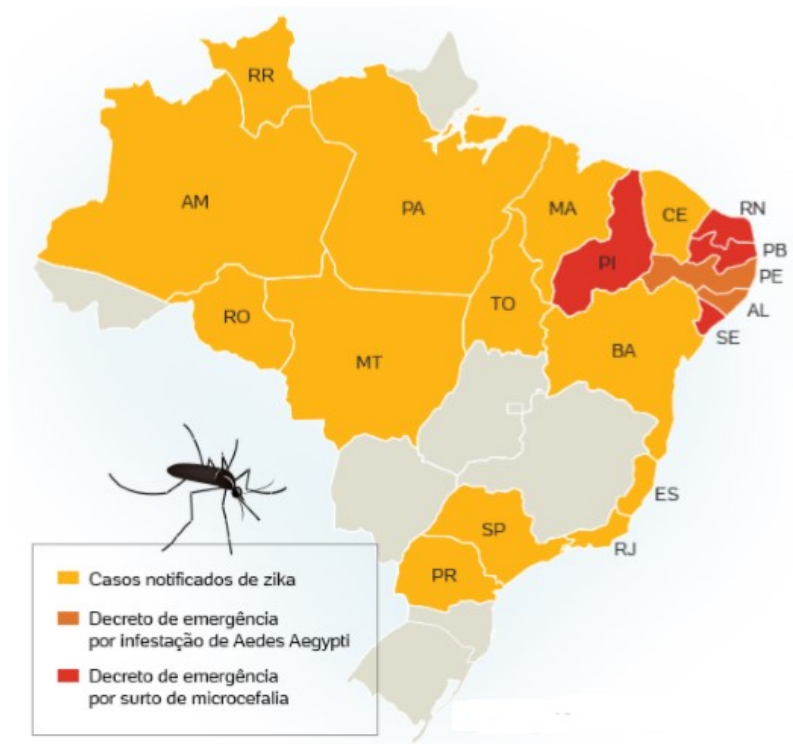
Um dos vetores de doenças que podem ser encontrados em cascas de coco é o mosquito do gênero *Aedes*. Segundo Valle, Pimenta e Aguiar (2016) *Aedes aegypti* é responsável pela transmissão e contaminação da dengue, febre amarela urbana, zika e Chikungunya, se adapta com facilidade aos ambientes urbanos e utilizam-se de diversos recipientes de uso humano para seu local de reprodução. Sendo assim, as cascas de coco expostas em ambientes antrópicos potenciais colaboradores para a proliferação desse vetor.

No segundo semestre de 2015, o Nordeste Brasileiro foi acometido por um surto de microcefalia, se alastrando dentre outros estados da federação (Figura 5), sendo estes casos vinculados ao Zika vírus, transmitido pelo mosquito *Aedes aegypti* e confirmados pelo Ministério da Saúde. O maior número de diagnósticos ocorreu no estado de Pernambuco, representando 36% dos casos confirmados no país e sendo o primeiro estado brasileiro a decretar estado de emergência (Ministério da Saúde, 2015).

De acordo com o Boletim epidemiológico publicado pelo Ministério da Saúde em novembro de 2018, não só o Zika Vírus causou tantos danos à saúde da população, a dengue também transmitida por *Aedes aegypti*, apresentou maior incidência de infectados. Foram registrados aproximadamente 3 mil casos graves no Brasil (SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE, 2018).

Dos 6 estados que vieram a decretar emergência por infestação de *Aedes aegypti* ou por surto de microcefalia, 5 estão entre os 10 maiores produtores de coco do Brasil, Rio grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, excetuando-se Piauí.

Figura 5 – Mapa Zika vírus nos estados da federação Brasileira.



Fonte: adaptado MADEIRO, 2015.

Outro problema ambiental é a decomposição do coco, propiciada pela ação de microrganismos aeróbicos e anaeróbicos, quando dispostos em locais inapropriados ou até mesmo em aterros sanitários. A decomposição anaeróbica produz gás metano, gás constituinte do Efeito Estufa (SILVEIRA, 2008). A decomposição aeróbica, produz dióxido de carbono (BALESTIERI, 2018), outro gás que possui influência negativa no Efeito Estufa. Apesar de ser um fenômeno natural que possibilita a vida humana na terra, o aumento de gases como o metano e dióxido de carbono lançados à atmosfera desequilibra o balanço existente entre a energia solar incidente e a energia solar refletida, impactando diretamente no aumento da temperatura média global, prejudicando a vida no planeta (MMA, 2015).

Uma alternativa viável para solução da problemática ambiental causada pelo resíduo do coco é sua reciclagem. A fibra do coco a qual é utilizada na reciclagem é a parte mais versátil do fruto, possibilitando utilização diversas, podendo ser incorporada na forma de fios picotados ou até mesmo em pó, beneficiando duplamente o meio ambiente, primeiro por sua destinação ambientalmente correta e segundo por estar sendo associada a uma prática sustentável que é a de produção de tijolo solo-cimento.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos experimentais deste trabalho foram desenvolvidos em sua grande parte no laboratório de tecnologia da construção do Instituto Federal de Pernambuco- IFPE, campus Recife. Outros procedimentos necessários, como a preparação das massas e moldagem dos corpos de prova, foram realizados no laboratório de geociências do Centro Universitário Tiradentes-UNIT, Maceió-AL.

4.1 MATERIAIS

No presente trabalho foram utilizados como materiais: solo, cimento Portland, fibra de coco verde e água.

4.1.1 Solo

Dois tipos de solos foram utilizados para fabricação do tijolo solo-cimento-resíduo. O primeiro solo foi coletado em um morro situado por trás do Centro Universitário Tiradentes-UNIT, Cruz das almas, Maceió- AL (9°37'53.5"S 35°42'23.3"W) (FIGURA 6).

O segundo solo foi extraído de jazida localizado no mesmo bairro (9°38'07.4"S 35°42'16.5"W). Ambos passaram pelo processo de peneiramento *in loco* para eliminação de materiais grosseiros que pudessem interferir no momento da moldagem.

Os locais para a coleta de solo foram escolhidos por conta da proximidade com o local da execução das misturas.

A norma NBR 10833 (2012) determina as condições necessárias para a produção de tijolos solo-cimento com a utilização de prensas manuais, devendo o solo atender às seguintes características: 100% passando na peneira de nº 4 com abertura de 4,75mm e de 10% a 50% passando na peneira de nº 200 com a abertura de 0,075 mm.

Figura 6 - Morro onde foi retirado o solo para fabricação de tijolo solo-cimento-fibra.



Fonte: autora, 2019.

4.1.2 Cimento Portland

O cimento utilizado foi o CP II Z-32, da marca Poty, que apresenta propriedades recomendadas pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2018) para produção de tijolos solo-cimento (ANEXO A). O produto é facilmente adquirido em comércios locais. O referido cimento é constituído de silicatos de cálcio, alumínio, ferro, sulfato de cálcio, filler carbonático e atende as características estabelecidas pela ABNT NBR 16697/2018 (Tabela 9):

Tabela 9 - Composição, exigências físicas, químicas e mecânicas do CP II Z-32.

Sigla	Classe de resistência	Componentes (% em massa)			
		Clínquer + sulfato de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
CP II - Z	32	94 - 70	-	6 - 14	0 - 10
Determinações físicas e mecânicas			3 dias	7 dias	28 dias
Resistência a Compressão (Mpa)			≥10	≥20	≥33
Tempo de início de pega (horas)				≥1	
Tempo de fim de pega (horas)				≤10	
Determinações químicas			Limites (% da massa)		
Resíduo insolúvel (RI)			≤16		
Perda ao fogo (PF)			≤6,5		
Óxido de magnésio (MgO)			≤6,5		
Trióxido de enxofre (SO ₃)			≤4,0		
Anidrido Carbônico (CO ₂)			≤5,0		

Fonte: NBR 16697, 2018.

4.1.3 Fibra de coco verde

Os cocos utilizados foram recolhidos de comércios localizados no entorno do Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) e as fibras foram obtidas por meio de desfibramento manual, colocadas para secagem ao ar livre, não sendo realizado nenhum tipo de tratamento químico (Figura 7).

Figura 7 - Fibra de coco verde para incorporação em tijolo solo-cimento.



Fonte: Autora, 2019.

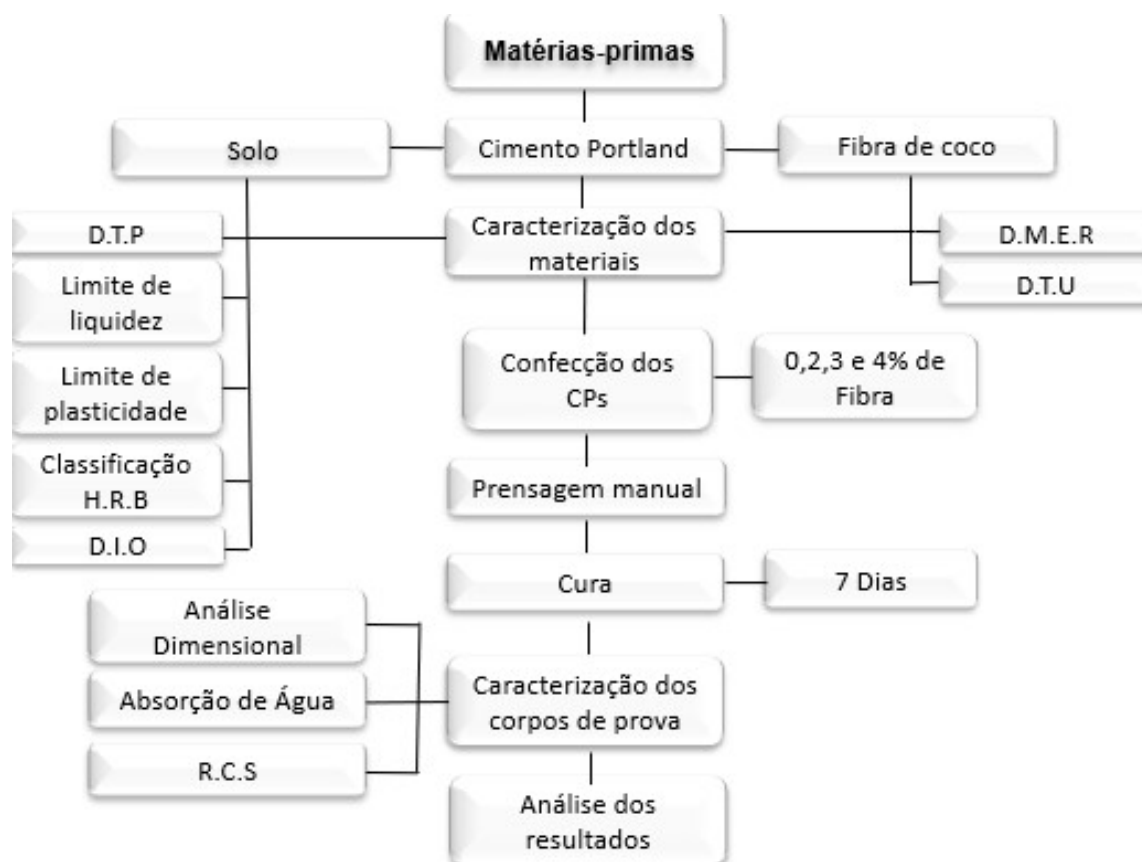
4.1.4 Água

Utilizou-se água potável fornecida pela Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), de acordo com a norma ABNT NBR 10833/12, onde diz que, a água para a fabricação de solo-cimento deve ser estar livre de impurezas nocivas à hidratação do cimento, conforme ABNT NBR 15900-1: 2009.

4.2 MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado de acordo com a metodologia demonstrada a seguir (FLUXOGRAMA 1).

Fluxograma 1 - Metodologia adotada para a confecção dos tijolos solo-cimento-fibra.



Fonte: autora, 2019.

Legenda

D.T.P - Determinação de tamanho de partícula
 H.R.B - Highway Research Board
 D.I.O – Determinação de impurezas orgânicas
 D.M.E.R – Determinação de massa específica real
 D.T.U – Determinação de teor de umidade
 R.C.S – Resistencia a compressão simples

4.2.1 Caracterização dos materiais

4.2.1.1 Caracterização do solo

A caracterização do solo foi realizada pelos ensaios de Determinação de Tamanho de Partícula (DTP), limite de consistência ou limites de Atterberg, que compreende os métodos de Limite de Plasticidade (LP) e Limite de Liquidez (LL), classificação pela Highway Research Board (HRB) e por fim determinação de impurezas orgânicas.

Logo nas primeiras etapas de determinação de tamanho de partículas e determinação de limites de Atterberg, foi detectado que o solo em questão não atendia as especificações

para a modalidade. Solos predominantemente argilosos requerem elevados teores de cimento para estabilização, com intuito de otimização do consumo do cimento, prioriza-se o uso de solos arenosos (ABCP, 2009).

Com os resultados dos ensaios acima descrito, decidiu-se realizar a correção granulométrica do solo, adicionando um segundo tipo de solo, de modo que a mistura atendesse os critérios estabelecidos pelas normas.

Para a determinação das características físicas do solo corrigido foram adotadas análises que viabilizam a qualidade da fabricação de um tijolo solo-cimento, preconizadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). São essas:

- NBR 7181/2016 – Solo – Análise granulométrica;
- NBR 6459/2016 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez;
- NBR 7180/2016 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade;

Como complemento as normas exigidas para a modalidade solo-cimento e com intuito de enriquecimento do trabalho, foram realizados procedimentos utilizando-se os métodos a seguir:

- NBR NM 49/2001 – Agregado Miúdo – Determinação de impurezas orgânicas;
- Classificação de solo pelo sistema H.R.B (Highway Research Board).

As normas brasileiras padronizadas utilizadas descrevem passo a passo as etapas realizadas nos ensaios de caracterização do solo.

4.2.1.1.1 Análise granulométrica

Consiste na determinação do tamanho de partículas e suas respectivas porcentagens de ocorrência numa determinada quantidade de material. Os ensaios para a determinação da curva granulométrica foram realizados segundo as prescrições da ABNT NBR 7181/2016 que prescreve os métodos para determinação de tamanho de partículas. Para tanto, foram utilizadas as peneiras ABNT N° 16, 30, 40, 50, 100 e 200, correspondendo às seguintes aberturas em milímetros (mm) 1,19; 0,59; 0,42; 0,297; 0,149 e 0,075, respectivamente para cada peneira.

A partir das massas retidas em cada peneira, foram determinadas as porcentagens de solo referente aos determinados diâmetros das partículas e classificados como pedregulho, areia grossa, areia média, areia fina, silte e argila. O valor do percentual passante em cada malha é obtido pela seguinte fórmula, equação 2:

$$\% \text{Retido} = \frac{MS}{MT} \times 100 \quad (2)$$

Onde: MS = Massa Seca retido na Peneira (g);

MT = Massa total (g).

4.2.1.1.2 Limites de consistência

Os limites de consistência ou limites de Atterberg (limite de liquidez e limite de plasticidade dos solos), são as variáveis que melhor expressam as condições da capacidade de os solos serem moldados, a uma determinada condição de umidade, não variando seu volume. Para tanto, foram utilizadas as normas ABNT NBR 6459/2016 e ABNT NBR 7180/2016.

O Limite de Liquidez (LL) é o valor da umidade para o qual o solo muda de um comportamento plástico para líquido, sendo, portanto, um valor superior ao limite de plasticidade, transição entre o estado semissólido e plástico do solo.

O Limite de Plasticidade (LP) é o teor de umidade em que o solo passa do estado plástico, tornando-se quebradiço, unidade de transição entre os estados plástico e semi- sólido do solo. A diferença aritmética entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, determina o índice de plasticidade (IP), que expressa a variação da umidade dentro da qual o solo terá o comportamento plástico, equação 3:

$$IP = LL - LP \quad (3)$$

4.2.1.1.3 Classificação Highway Research Board/ Association State Highway Officials

O método Highway Research Board (HRB) ou American Association State Highway Officials (AASHO) classifica o solo de acordo com o resultado do ensaio de granulometria e limites de consistência (Figura 8), é utilizado como norteador para normas de dosagem de cimento pela ABCP (2004).

Figura 8 – Tabela de classificação de solos HBR/AASHO.

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Grupo											
Peneiração: % que passa: Nº 10 Nº 40 Nº 200 (p)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40 Limite de Liquidez - LL (%) Índice de Plasticidade IP (%)				40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

Fonte: Pinto, 2006.

A classificação é realizada por eliminação, da esquerda para a direita. O primeiro grupo da esquerda que satisfaçam os dados de granulometria, limite de liquidez e índice de plasticidade será o grupo correspondente ao solo analisado. O valor complementar do Índice de Grupo é obtido pela seguinte formula, equação 4:

$$IG = 0,2.a + 0,005.a . c + 0,01.b.d \quad (4)$$

Onde: p: teor de silte + argila do solo, porcentagem que passa na peneira nº 200.

a=p – 35 (se p > 75%, adota-se 75 e se p < 35%, adota-se 35).

b=p – 15 (se p > 55%, adota-se 55 e se p < 15%, adota-se 15).

c=LL – 40 (se LL > 60%, adota-se 60 e se LL < 40%, adota-se 40).

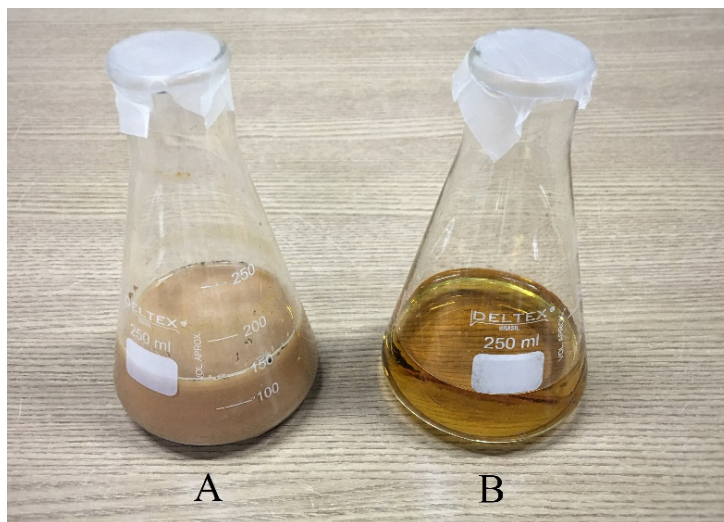
d=IP – 10 (se IP > 30, adota-se 30 e se IP < 10, adota-se 10).

4.2.1.1.4 Determinação de impurezas orgânicas

Este ensaio estabelece a presença de impurezas orgânicas pelo método de determinação colorimétrica em agregado miúdo descrito pela NBR NM 49/2001. Foi utilizada uma amostra de 200g do solo úmido a fim de evitar a segregação pulverulenta. Em um frasco erlenmeyer foi adicionado 200g de agregado miúdo seco ao ar livre e 100 mL de solução de

hidróxido de sódio e em seguida agitado vigorosamente. Concomitantemente ao procedimento anterior, foi preparado em um segundo erlenmeyer uma solução padrão com 97 mL de solução de hidróxido de sódio mais 3 mL de solução de ácido tânico a 2% (FIGURA 9).

Figura 9 – Erlenmeyer utilizados para análise de impurezas orgânicas.



Fonte: autora, 2019

A – 100 ml de hidróxido de sódio + solo

B – Solução padrão: 97 mL de hidróxido de sódio + 3 mL de ácido tânico a 2%

Ambas as misturas foram deixadas em repouso por 24 horas em ambiente escuro. Findo o período de repouso, realizou-se a filtração da primeira solução de hidróxido de sódio, para um tubo Nessler e a transferência da segunda solução para outro tubo Nessler. Foi avaliado a quantidade de matéria orgânica comparando a cor a olho desarmado da primeira solução obtida (A) com a segunda solução padrão obtida (B).

4.2.1.2 Caracterização da fibra do coco verde

As fibras de coco verde foram retiradas da região do epicarpo e mesocarpo e submetidas a secagem ao ar livre, em seguida foram cortadas em dois tamanhos distintos, uma com aproximadamente 5 cm e outra na faixa de 15 a 20mm de comprimento, a primeira para mistura do solo-cimento e a segunda para facilitar as análises do material (FIGURA 10). A

caracterização da fibra do coco foi realizada pelos métodos de Determinação de Massa Específica Real (D.M.E.R) e Determinação de Teor de Umidade (D.T.U).

Figura 10 – Fibra de coco verde com 15-20 mm de comprimento.



Fonte: autora, 2019.

4.2.1.2.1 Determinação de massa específica

Para obtenção da massa específica real das fibras foi utilizado o método do picnômetro. Onde foi colocado 1 g de fibra de aproximadamente 10 mm de comprimento, em um frasco preenchido com água destilada até sua cobertura total (FIGURA 11).

Figura 11 – Picnômetro com fibra de coco e água destilada.



Fonte: autora, 2019

As fibras ficaram imersas por 24 horas, permitindo a saída de ar contido nos vazios. Em seguida, o picnômetro foi completamente preenchido com água destilada e determinado sua massa. O valor da massa específica real foi obtido através da equação 5.

$$\rho = \frac{(P_2 - P_1)}{(P_4 - P_1) - (P_3 - P_2)} \quad (5)$$

Onde: ρ = massa específica real em g/cm³

P_1 = massa do picnômetro vazio (g)

P_2 = massa do picnômetro com fibra (g)

P_3 = massa do picnômetro contendo água e fibras (g)

P_4 = massa do picnômetro preenchido com água (g)

4.2.1.2.2 Determinação de teor de umidade

Para a realização do ensaio as fibras foram preparadas de modo que seu comprimento ficasse em torno de 15 mm e depois foram secas em estufa a 60 °C até constância de massa, resultando na massa seca (P_e). Posteriormente foram deixadas expostas ao ar livre por 24 horas, obtendo-se a massa seca ao ar (P_a). O teor de umidade das fibras foi calculado por meio da equação 6.

$$H = \frac{|(P_a - P_e)|}{P_e} \cdot 100 \quad (6)$$

Onde: H = Teor de umidade da fibra de coco (%)

P_a = Massa seca da fibra de coco babaçu na estufa (g)

P_e = Massa seca ao ar da fibra de coco (g)

4.2.1.3 Moldagem dos tijolos de solo-cimento incorporados com e sem fibra de coco

Os corpos de prova foram confeccionados com 2667g de solo e cimento misturados nas proporções de 86% de solo e 14% de cimento o que equivale a 2293 g e 373 g

respectivamente, utilizando-se como base a recomendação da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a qual recomenda a porcentagem utilizada como teor máximo em matérias de solo-cimento. Foram adicionados 3,3% de água em relação a massa seca. Nas composições C₂ C₃ e C₄ foram incorporadas a massa total da mistura solo-cimento fibra de coco verde em ordem crescente de 2, 3 e 4% em relação a massa (Tabela 10).

Tabela 10 – Composição dos tijolos solo-cimento-fibra. PASSAR OS PERCENTUAIS PRA MASSA

Composição	Solo	Cimento	Água	Fibra
	Areia + Argila			
C1	86	14	3.3	-
C2	86	14	3.3	2
C3	86	14	3.3	3
C4	86	14	3.3	4

Fonte: autora, 2019.

A moldagem e a cura dos corpos de prova seguiram a norma ABNT NBR 10833/2012, onde sugere-se que o procedimento de dosagem seja realizado com a preparação de três traços de solo-cimento. De cada traço foram moldados vinte tijolos, curados e umedecendo-os durante os 7 primeiros dias.

Ainda de acordo com a ABNT NBR 10833/2012 a mistura do solo-cimento foi pré-misturada de forma manual e umedecida com água gradativamente, até atingir a umidade ideal de trabalho. Posteriormente a mistura foi submetida ao triturador de solos JAG para a garantia da perfeita homogeneização, sendo transferida imediatamente para o molde e executada a compactação na prensa manual JARFEL.

Os dois maquinários são da marca SAHARA (Figura 12,13 e 14). Em seguida os tijolos foram empilhados à sombra, em uma superfície lisa e plana, obedecendo a altura limite de 1,5m.

Figura 12 - Prensa manual SAHARA JARFEL para fabricação de tijolos solo-cimento.



Fonte: SAHARA, 2019.

- Tipo da prensa: modular, produz tijolos de encaixe universal, podendo ser trocado o molde do tijolo de acordo com o formato que se deseja;
- Capacidade de produção: 250 a 300 tijolos por hora;
- Tensão de compactação: 2.0 MPa a 3.0 MPa segundo o fabricante.

Figura 13 – Triturador de solos JAG 500.



Fonte: SAHARA, 2019.

- Tipo: Triturador destorroa e homogeneiza mistura para fabricação de solo-cimento;
- Massa: aproximadamente 100 kg;
- Dispositivos: motor de 2HP e lâmina de trituração.

Figura 14 – Molde para fabricação de tijolo solo-cimento vazado.



Fonte: autora, 2019.

Após a cura dos tijolos recomenda-se para armazenamento e transporte o uso de paletes. Os tijolos só ficaram prontos para utilização após 14 dias de sua fabricação.

4.2.1.4 Caracterização dos corpos de prova

As caracterizações dos corpos de prova foram realizadas pelos métodos de Análise Dimensional, Resistência à Compressão (RC) e Absorção de Água (AA), ensaios estes requeridos pela ABNT NBR 8491/2016 como requisitos para recebimento de tijolos solo-cimento.

Dos vinte tijolos produzidos para cada traço, dez foram escolhidos aleatoriamente para realização da análise dimensional, desses dez, sete foram submetidos a resistência a compressão simples e três a absorção de água. Todos os tijolos foram transportados envoltos em plástico bolha, de modo que não houvesse atrito e danos estruturais ao material.

4.2.1.4.1 Análise dimensional dos tijolos ecológicos

Os tijolos confeccionados de acordo com a ABNT NBR 8492/2016 devem satisfazer as tolerâncias permitidas nas dimensões nominais dos tijolos $\pm 1,00$ mm para comprimento (C), largura (L) e altura (H). As dimensões nominais que os tijolos devem atender são apresentadas na Tabela (11), podem apresentar dimensões diferentes das prevista na norma, desde que o tijolo permaneça com a altura (H) menor que a sua largura (L).

Tabela 11 - Tipos de tijolos solo-cimento e dimensões nominais em milímetros.

Tipos	Comprimento (C)	Largura (L)	Altura (H)
A	200	100	50
B	240	120	70

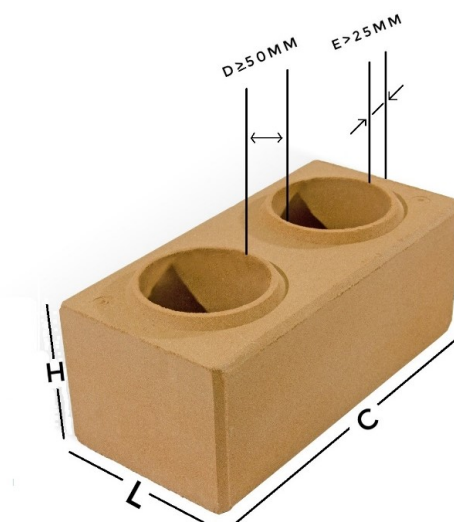
Fonte: ABNT NBR 8491:2012.

Obs.: Tipo A= Tijolo solo-cimento maciço;

Tipo B= Tijolo solo-cimento vazado.

Com auxílio de um paquímetro Mitutoyo com precisão de 0,05mm. amplitude máxima de 150mm e uma régua graduada de 40cm, foram executadas 3 determinações em pontos distintos de cada face dos tijolos, uma em cada extremidade (e) e uma no meio do corpo de prova (d). A distância mínima dos entornos deve ser de no mínimo 25mm e 50mm entre os furos, como mostra a Figura 15:

Figura 15 - Tijolo vazado de solo-cimento.



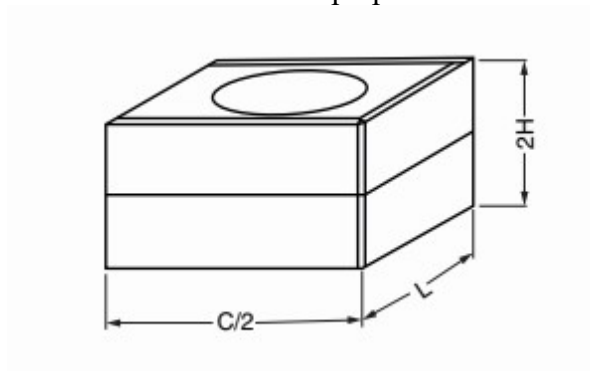
Fonte: autora, adaptado ABNT NBR 8491:2012.

4.2.1.4.2 Ensaio de resistência à compressão

A determinação da resistência à compressão simples foi realizada conforme a metodologia proposta na norma ABNT NBR 8492/12. O ensaio foi feito em uma máquina de compressão EMIC SSH300. Foram preparados 7 tijolos representativos de cada traço.

Após a aferição das medidas e a marcação perpendicular à sua maior dimensão, os tijolos foram serrados ao meio com auxílio de uma makita Bosh 1200 a fim de favorecer a simetria necessária ao ensaio e em seguida, foi realizado o processo de capeamento, as faces foram superpostas por suas faces maiores, sendo as duas metades obtidas e as superfícies cortadas invertidas (Figura 16) ligadas com uma camada fina de cimento Portland preparada com um repouso de 30 minutos, com 3 mm de espessura. Após o endurecimento, foram capeadas as duas faces externas e esperado 12 horas para imersão em água por no mínimo 6 horas. Após a retirada da água foram secados com um pano levemente umedecido, respeitando o intervalo de no máximo 3 minutos para serem ensaiados.

Figura 16- Ilustração do corpo de prova preparado a partir de tijolo vazado com duas metades invertidas e superpostas.



Fonte: ABNT NBR 8492:2012.

Os corpos de prova foram colocados diretamente sobre o prato inferior da máquina de ensaio, de modo que o seu centro de gravidade estivesse no mesmo eixo da carga da prensa. A aplicação da carga foi uniforme à razão de 500 N/s, sendo essa gradativamente elevada até a ruptura do tijolo (Figura 17).

Figura 17 – Corpo de prova sobre a bandeja da máquina de compressão.



Fonte: autora, 2019.

4.2.1.4.3 Ensaio de absorção de água

A absorção de água é um processo físico pelo qual o material cerâmico retém água nos poros e condutos capilares e é função dos poros que têm comunicação as partes superficiais. A água tem acesso aos vazios do concreto pelo exercício da pressão ou pelo fenômeno de capilaridade (SILVA, 2005). A capilaridade é atributo dos materiais higroscópicos, manifesta-se por sucção capilar, independente da pressão exterior, necessitando apenas de contato com a umidade. A água retida por capilaridade permanece na rede capilar, podendo sofrer evaporação através da influência das extremidades externas dos vasos (MENEZES, 2015).

Ainda de acordo com Menezes (2015) o papel da água no interior dos agreados é de grande importância, pois exerce influência nas suas interações e propriedades. Constituinte essencial, pois sustenta reações de hidratação e, uma vez que o esqueleto estrutural é formado, é atraída para a superfície do material.

A determinação do índice de absorção de água dos tijolos foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 8492/2012. Foram preparados 3 tijolos representativos de cada traço, secos em estufa a uma temperatura de 105°, até sua consistência de massa e pesados, obtendo-se assim o valor da massa (m_1). Após os tijolos atingirem temperatura ambiente, foram submersos em água em um tanque por 24 horas, retirados, enxugados superficialmente com um pano levemente umedecido e pesados, respeitando um intervalo máximo de 3 minutos, obtendo-se assim o valor de (m_2).

O cálculo da absorção de água é dado pela seguinte equação:

$$Abs = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 \quad (7)$$

Onde: Abs = Absorção de água (%)

m_1 = massa seca (g)

m_2 = massa saturada (g)

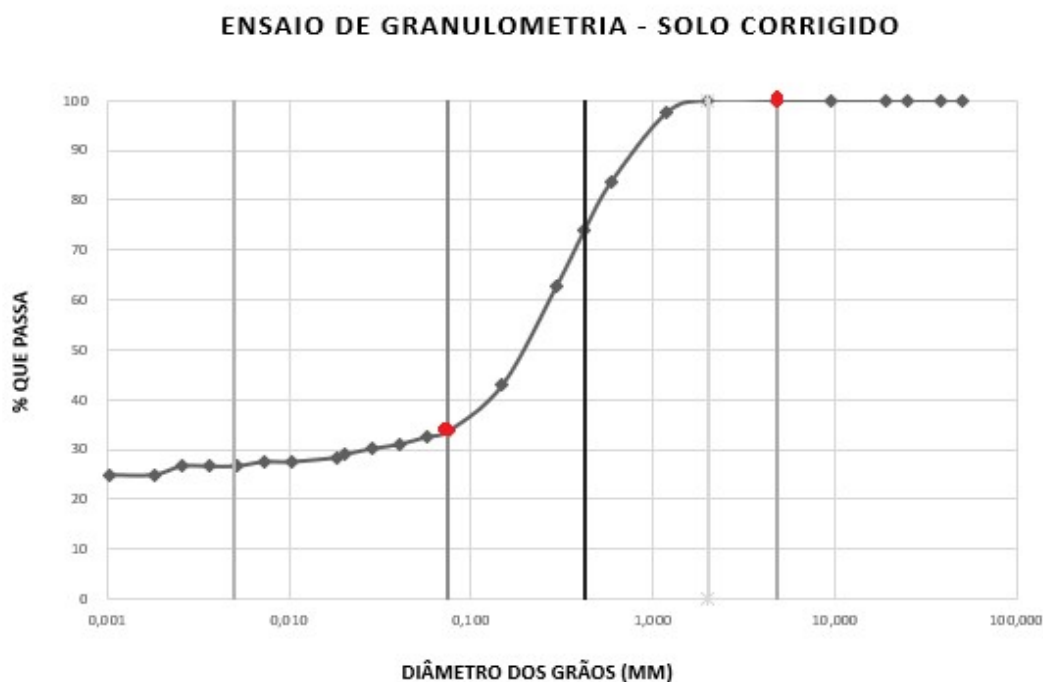
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se os resultados obtidos durante a pesquisa nas etapas de caracterização dos materiais, moldagem dos corpos de prova e caracterização dos tijolos ecológicos com e sem adição da fibra de coco.

5.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Conforme observa-se na Figura 18, os pontos em vermelho no gráfico mostram que as porcentagens passantes pelas peneiras ABNT N° 200 (0,075mm) e 4 (4,8 mm) são de 33,56% e 100% respectivamente, estando de acordo com o estabelecido pela ABNT NBR 10833/2012 a qual especifica que o percentual passante na peneira nº 4 deve ser de 100% e de 10-50% para a peneira nº 200.

Figura 18 – Ensaio de granulometria do solo.



Fonte: autora, 2019.

A presença de pedregulhos e areia grossa no solo se faz necessária pois são materiais constituídos de quartzo e silicato que possui comportamento inerte, com ausência de coesão, alta permeabilidade e resistência mecânica. Executam a função de enchimento o que favorece na redução do uso de cimento utilizado para aglomeração dos grãos menores, como os grãos

de argila, que possuem baixa permeabilidade e comportamento expansivo quando hidratados. A tabela 12 apresenta os valores obtidos no ensaio de análise granulométrica do solo utilizado.

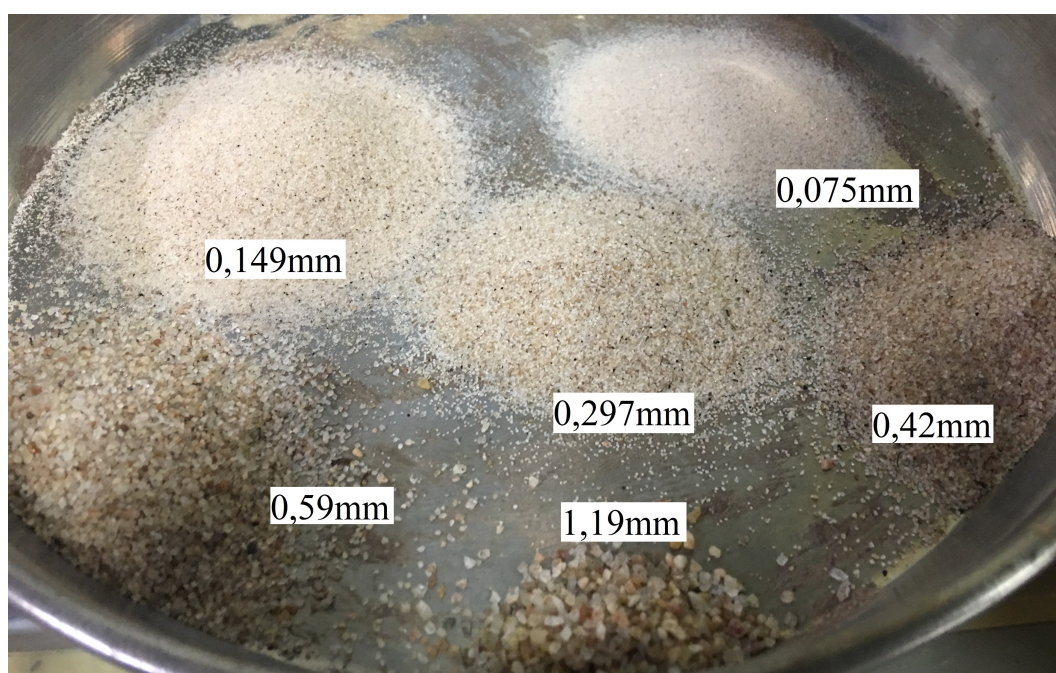
Tabela 12 – Frações do solo no ensaio de análise granulométrica.

Distribuição granulométrica	Parâmetros	Resultados obtidos
	Pedregulho (>4,8mm)	0,53%
	Areia grossa (0,60-2,0mm)	1,75%
	Areia média (0,20-0,60 mm)	24,18%
	Areia Fina (0,06-0,20mm)	40,25%
	Silte (0,002-0,006mm)	6,98%
	Argila (<0,002mm)	26,57%
	Passante na peneira nº 200	33,56%

Fonte: autora, 2019.

De acordo com os valores apresentados na tabela acima o solo utilizado possui em sua composição 66,17% de areia, 6,98% de silte e 26,57% de argila, dentro dos padrões recomendados pela PCA (1969) e SAHARA (2019) discutidos na revisão de literatura. A Figura 19 apresenta a segregação da granulometria do solo miúdo realizada no peneiramento através das peneiras nº 16 (1,19mm), 30 (0,59mm), 40 (0,42mm), 50 (0,297mm), 100 (0,149mm) e 200 (0,075mm).

Figura 19 – Segregação de granulometria do solo miúdo por peneiramento.



Fonte: autora, 2019.

5.2 LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Os limites de consistência foram estabelecidos pela metodologia aplicada segundo as normas ABNT NBR 6459/2016 para a determinação do limite de liquidez e a ABNT NBR 7180/2016 para a determinação do limite de plasticidade, sendo os resultados comparados com os requisitos requeridos pela ABNT NBR 10833/2012 (Tabela 13).

Tabela 13 – Comparação do resultado de LL, LP e IP com a ABNT NBR 10833/2012.

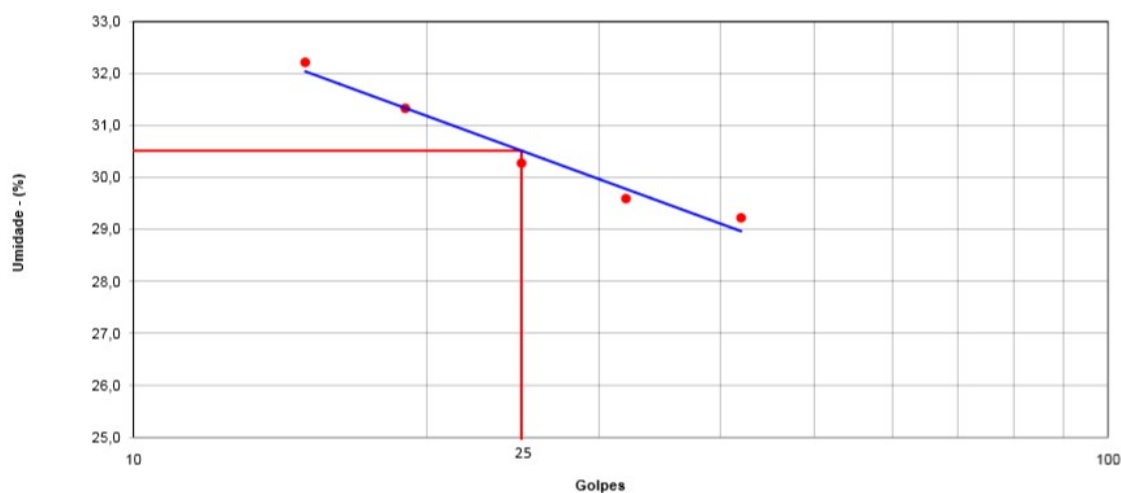
Solo	Parâmetros NBR 10833:12	Resultados
Limite de Liquidez (LL)	$\leq 45 \%$	31 %
Limite de Plasticidade (LP)	-	23 %
Índice de Plasticidade (IP)	$\leq 18 \%$	8 %

Fonte: autora, 2019.

O limite de liquidez do solo correspondeu a 31% e o índice de plasticidade obtido pela subtração de LL por LP foi de 8%, esse resultado demonstra a boa plasticidade do solo por obter quantidade desejada de grãos finos (silte + argila) para conferir à mistura boa capacidade de moldagem na etapa de fabricação do tijolo solo-cimento, tornando-o apto para ser utilizado na fabricação de tijolos ecológicos.

Com os dados do ensaio realizado através do aparelho de Casagrande (ANEXO B), plotou-se um gráfico de fluência representado por dois valores (teor de umidade X número de golpes), obtendo-se a determinação do limite de liquidez quando a umidade corresponde a 25 golpes. (Figura 20).

Figura 20 – Limite de liquidez do solo.



Fonte: autora, 2019.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que o solo corrigido utilizado está dentro dos parâmetros normativos para fabricação de tijolos solo-cimento para materiais construtivos, por apresentar composição de argila necessária para estabilizar o cimento, permitindo a moldagem e compactação do tijolo.

5.3 CLASIFICAÇÃO HIGHWAY BOARD (HRB)/ASSOCIATION STATE HIGHWAY OFFICIALS (AASHO)

Conhecidas as características físicas do solo, obtidas pelos ensaios de granulometria e limites de consistência, passou-se à sua classificação. A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) emprega a classificação (HBR/AASHO) nos ensaios de solo-cimento, completada com a determinação do índice de grupo.

Considerando o solo corrigido com quantidade de material passante na peneira nº 200 de 33,56%, limite de liquidez de 31% e índice de plasticidade 8%, o solo utilizado se enquadra como A-2-4, com índice de grupo igual a zero, tendo como material predominante areia siltosa ou argilosa e com o comportamento como subleito de excelente a bom (Tabela 14).

Tabela 14 - Comparação de parâmetros solo HBR tipo A-2-4 e solo corrigido

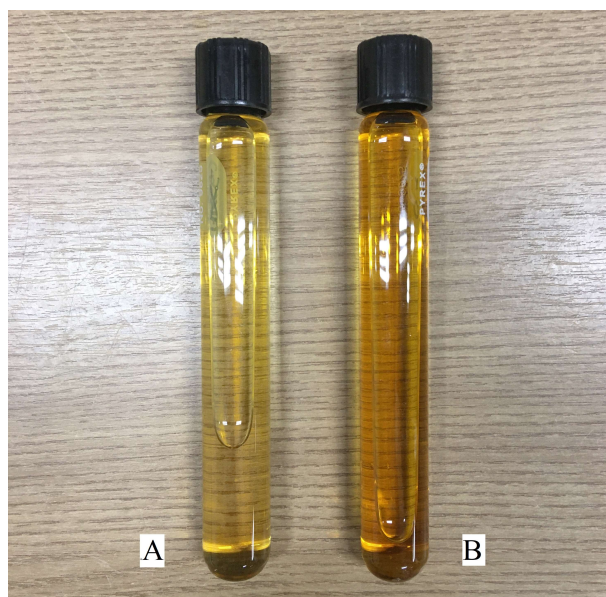
Parâmetros	Solo tipo A-2-4	Solo corrigido
P ₂₀₀	< 35%	33,56%
Limite de liquidez	< 40%	31%
Índice de plasticidade	< 10%	8%
Tipo do material	Areia siltosa ou argilosa	
Classificação como subleito	Excelente a bom	

Fonte: autora, 2019

5.4 DETERMINAÇÃO DE IMPUREZAS ORGÂNICAS

Para determinação de impurezas orgânicas no solo foi utilizada a ABNT NBR NM 49/2001 a qual avalia a quantidade de matéria orgânica por comparação colorimétrica (Figura 21).

Figura 21 – Tubos de ensaio com soluções para determinação de impurezas orgânicas.



Fonte: autora, 2019.

A – Filtrado de 100 ml de hidróxido de sódio + solo

B – Solução padrão: 97 ml de hidróxido de sódio + 3 ml de ácido tânico a 2%

A diferença colorimétrica do tubo A para o tubo B, sendo o primeiro mais claro que o segundo, indica que o solo não possui predominância carbonática ou apresenta baixo teor deste componente. É de extrema importância a verificação de matéria orgânica presente no solo, pois a mesma possui a capacidade de perturbar a hidratação do cimento, interferindo negativamente na estabilização do solo com os outros materiais (ABCP, 2000).

A matéria orgânica interfere diretamente sobre a resistência do solo à compactação, aumentando a coesão entre as partículas minerais, alterando o arranjo estrutural e na densidade do solo. Ambas influenciam na capacidade de suporte de carga, primeiro elevando-a e segundo reduzindo-a, afetando sua elasticidade (BRAIDA, 2008), características essas que não são desejadas para um solo utilizado em processos construtivos.

5.5 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA E TEOR DE UMIDADE DA FIBRA DO COCO VERDE

Os resultados da caracterização das fibras foram de 0,08 g/cm³ de massa específica e 0,23% de teor de umidade. A provável explicação para o baixo valor de umidade é que as

fibras foram sujeitas ao ensaio *in natura*, sem nenhum tipo de tratamento químico. Segundo Leão (2012) alguns tipos de tratamento químico provocam a destruição da lignina. Destruição essa não desejada pois a lignina contribui para aumento de durabilidade e resistência da fibra (CABRAL et al, 2017).

5.6 MOLDAGEM DOS TIJOLOS

A primeira tentativa de moldagem do tijolo com a fibra de coco verde foi realizada logo após seu desfibramento, com fibra em torno de 5 cm de comprimento. Durante a análise visual e dimensional desse tijolo foram identificados problemas com a compactação e incorporação da fibra no solo, devido à falta de adesão por conta do comprimento desproporcional e inadequado (Figura 22).

Figura 22 – Tijolo solo-cimento incorporado com fibra sem corte.



Fonte: autora, 2019.

Foi observado má qualidade estrutural e o surgimento de pontos de concentração de tensão durante a retirada do tijolo do molde, havendo ocorrência de esfarelamento superficial de parte do material, demonstrando má agregação dos grãos com a fibra, causando provável perda de resistência mecânica e aumento na absorção de água do tijolo, tornando-o sensível a intempéries. Com o resultado insatisfatório, a fibra foi reduzida para 15-20mm de comprimento, de modo a facilitar a incorporação no material cerâmico, melhorando a aparência e provavelmente favorecendo absorção de água e resistência do tijolo (Figura 23).

Figura 23 – Tijolo solo-cimento incorporado com fibra cortada.

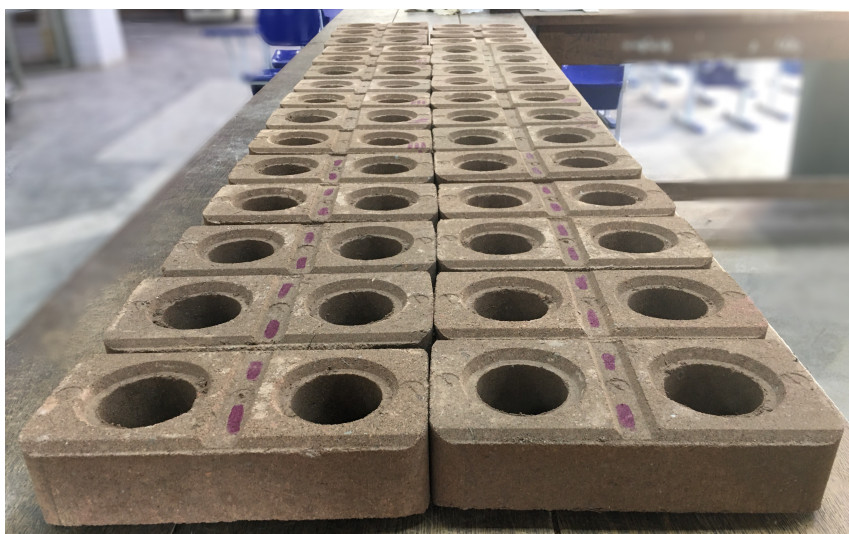


Fonte: autora, 2019.

5.7 ANÁLISE DIMENSIONAL DOS TIJOLOS ECOLÓGICOS

Dez tijolos de cada formulação foram submetidos a análise dimensional. Para cada dimensão do tijolo, foram executadas 3 aferições em pontos distintos de cada face, sendo feita uma aferição em cada extremidade e uma no meio do tijolo, facilitando a exatidão do corte para o ensaio de resistência à compressão (Figura 24).

Figura 24 – Tijolos sujeitos a análise dimensional.



Fonte: autora, 2019.

Na presente análise foram registradas a massa, comprimento (C), largura (L), altura (H), espessura mínima das paredes (E1; E2) e distância mínima entre dois furos dos tijolos e suas respectivas médias aritméticas. Os resultados das aferições estão demonstrados nas tabelas a seguir (Tabelas 15, 16, 17 e 18).

Tabela 15 – Análise dimensional dos tijolos padrão (C1) sem adição de fibra de coco.

Tijolo Padrão	Massa in natura	C	L	H	E1	E2	D
C1-1	2,688	242	121	64,00	32,22	37,34	50
C1-2	2,705	243	120	64,80	32,00	32,80	50
C1-3	2,611	247	120	64,00	33,00	32,20	50
C1-4	2,751	245	121	63,70	32,00	32,70	50
C1-5	2,653	247	121	64,50	32,00	32,00	50
C1-6	2,645	247	120	64,21	32,20	32,10	50
C1-7	2,611	246	120	64,30	32,00	32,20	50
C1-8	2,673	245	120	64,50	33,00	33,00	50
C1-9	2,700	245	120	64,00	32,00	32,80	50
C1-10	2,699	245	120	64,05	32,00	33,00	50
Média	2,667	245	120	64	32	33	50

Fonte: autora,2019.

Tabela 16 – Análise dimensional dos tijolos (C2) com adição de 2% de fibra de coco.

Tijolo 2%	Massa in natura	C	L	H	E1	E2	D
C2-1	2.509	245	120	65	32,20	32,00	50
C2-2	2,761	245	120	65	32,00	32,10	50
C2-3	2.581	245	120	67	32,12	32,00	50
C2-4	2.689	245	120	65	32,00	32,10	50
C2-5	2.586	245	120	65	32,00	32,10	50
C2-6	2.604	245	121	66	32,00	32,00	50
C2-7	2.533	245	120	67	32,00	32,00	50
C2-8	2.610	246	120	65	32,00	32,00	50
C2-9	2,608	245	120	66	32,00	32,00	50
C2-10	2,609	245	120	65	32,00	32,00	50
Média	2,609	245	120	65	32	32	50

Fonte: autora,2019.

Tabela 17 – Análise dimensional dos tijolos (C3) com adição de 3% de fibra de coco.

Tijolo 3%	Massa in natura	C	L	H	E1	E2	D
C3-1	2,577	245	120	65	32,00	32,00	50
C3-2	2,714	245	121	67	33,00	32,00	50
C3-3	2,624	245	121	63	32,00	32,10	50
C3-4	2,537	247	120	65	32,00	32,12	50
C3-5	2,646	247	121	67	32,10	32,10	50
C3-6	2,802	247	120	66	32,00	32,00	50
C3-7	2,595	244	121	65	32,00	32,00	50
C3-8	2,728	245	120	66	32,10	32,00	50
C3-9	2,670	245	121	65	32,00	32,00	50
C3-10	2,673	245	120	65	32,00	32,00	50
Média	2,672	245	120	65	32	32	50

Fonte: autora, 2019.

Tabela 18 – Análise dimensional dos tijolos (C4) com adição de 4% de fibra de coco.

Tijolo 4%	Massa in natura	C	L	H	E1	E2	D
C4-1	2,875	245	120	65	32,20	32,00	50
C4-2	2,668	247	120	64	33,00	32,10	50
C4-3	2,856	247	121	63	32,22	32,00	50
C4-4	2,855	245	120	65	32,00	32,22	50
C4-5	2,768	245	120	65	32,00	32,10	50
C4-6	2,720	245	120	66	32,00	32,00	50
C4-7	2,804	247	121	65	32,10	32,00	50
C4-8	2,845	245	120	65	32,00	32,00	50
C4-9	2,800	245	120	64	32,00	32,00	50
C4-10	2,799	245	120	65	32,00	32,00	50
Média	2,798	245	120	65	32	32	50

Fonte: autora, 2019.

As medições realizadas nos corpos de prova indicaram não conformidades em relação ao comprimento e altura dos tijolos tipo B de acordo com a NBR 8491/2012, pois as dimensões médias para o lote de tijolos produzidos foram 245 x 120 x 63 mm, sendo o comprimento superior a 240 mm e a altura inferior a de 70 mm, porém a norma especifica que os tijolos podem apresentar dimensões diferentes das estabelecidas, desde que, permaneçam com a altura (H) menor que a largura (L).

Os valores medidos atingiram variação de + 5 mm para o comprimento e – 7mm para a altura e isto ocorreu devido a força de prensagem exercida ou a diferença na regulagem de compactação da máquina em um molde com dimensões pré-definidas pelo fabricante da prensa manual.

Para tijolos tipo B (vazados ou com furos), foram aferidos com eixo perpendicular à superfície de assentamento, a espessura mínima das paredes (e) e a distância mínima entre os dois furos, sendo o resultado de 32mm e 50mm para cada, todas as aferições demonstraram-se satisfatórias, garantindo boa qualidade dimensional e execução do tijolo ecológico, podendo assim, seguirem para os ensaios de resistência a compressão simples e absorção de água.

5.8 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para o ensaio de absorção de água foram adotados os procedimentos sugeridos pela ABNT NBR 8492/2012. Foram submetidos 3 tijolos de cada composição C1, C2, C3 e C4, totalizando 12 tijolos, secados em estufa até consistência de massa, pesado e registrado sua massa seca (m_1).

Posteriormente, quando os tijolos atingiram temperatura ambiente, foram imersos em um tanque por 24 horas, pesados e registrados suas massas saturadas (m_2). Os valores obtidos estão descritos nas tabelas 19, 20, 21 e 22.

Tabela 19 – Ensaio de absorção de água nos tijolos C1 sem adição de fibra de coco verde.

Tijolo	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Absorção de água (%)		Parâmetros NBR 8491 (2012)	
			Individual	Média	Individual	Média
C1-1	2572,21	2920,51	13,54	12,95	≤ 22	≤ 20
C1-2	2662,97	2998,32	12,59			
C1-3	2628,86	2963,37	12,72			

Fonte: autora, 2019.

Tabela 20 – Ensaio de absorção de água nos tijolos C2 com adição de 2% de fibra de coco verde.

Tijolo	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Absorção de água (%)		Parâmetros NBR 8491 (2012)	
			Individual	Média	Individual	Média
C2-1	2689,49	2.944,51	9.48	12,61	≤ 22	≤ 20
C2-2	2668,74	3.003,47	12.54			
C2-3	2567,36	2.973,60	15.82			

Fonte: autora, 2019.

Tabela 21 – Ensaio de absorção de água nos tijolos C3 com adição de 3% de fibra de coco verde.

Tijolo	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Absorção de água (%)		Parâmetros NBR 8491 (2012)	
			Individual	Média	Individual	Média
C3-1	2840,00	3040,00	7.04	7,25	≤ 22	≤ 20
C3-2	2960,00	3200,00	8.10			
C3-3	2720,00	2900,00	6.61			

Fonte: autora, 2019.

Tabela 22 – Ensaio de absorção de água nos tijolos C4 com adição de 4% de fibra de coco verde.

Tijolo	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Absorção de água (%)		Parâmetros NBR 8491 (2012)	
			Individual	Média	Individual	Média
C4-1	2660,00	2920,00	9,77	9,04	≤ 22	≤ 20
C4-2	2660,00	2880,00	8,27			
C4-3	2640,00	2880,00	9,09			

Fonte: autora, 2019.

A absorção de água está relacionada à microestrutura do tijolo de solo-cimento determinando a quantidade de poros abertos. Observou-se que a absorção de água foi maior para os tijolos do tipo (C1) sem adição de fibra, havendo variação inconsistente nas três porcentagens seguintes, 2, 3 e 4, visto que segundo Mehta (2006) os sólidos exibem uma relação inversa entre porosidade e resistência, consequentemente a porosidade de cada componente de sua estrutura pode resultar em um fator limitante da resistência. O menor valor de absorção de água foram dos tijolos tipo (C3) com 3% de adição de fibra, estes resultados podem ser justificados pela taxa de compactação do tijolo, devido a utilização de prensa manual, a qual não mantém pressão constante em todas as execuções, influenciando na porosidade aberta e fundência dos tijolos. A adição da fibra de modo geral diminuiu a quantidade de poros capilares melhorando o empacotamento da matriz cimentícia solo-cimento. Todas as composições apresentaram valores individuais e médios de absorção de água dentro dos parâmetros estabelecido pela norma ABNT NBR 8491 (2012).

5.9 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Para o ensaio de resistência a compressão simples foram adotados os procedimentos sugeridos pela ABNT NBR 8492 (2012), sete tijolos de cada traço foram cortados ao meio, perpendicular à sua maior dimensão, superpostas suas faces maiores de forma invertida, utilizando uma pasta fina de cimento Portland para fixação. Após aguardar o endurecimento, os tijolos receberam capeamento de 3 mm de espessura nas duas faces externas, respeitando o tempo de 12 horas para o endurecimento do cimento.

Segundo Carvalho (2019), o procedimento de capeamento mostra uma predisposição dos tijolos ensaiados aumentarem sua resistência à compressão simples devido à cura do cimento provocada pela hidratação na mistura, atuando na coesão do material. Após o endurecimento do cimento, os tijolos foram submersos em água por 6 horas e logo antes ao ensaio foram retirados da água, secados superficialmente e rompidos, respeitando um intervalo de no máximo 3 min.

As Tabelas 23, 24, 25 e 26 apresentam os valores obtidos nos ensaios, apresentando valores de resistência individual e média para a composição padrão sem adição de fibra (C), composição com adição de 2% (C2), 3% (C3) e 4% (C4). Segundo a norma ABNT NBR 8491/2012 o valor médio da resistência à compressão não deve ser menor do que 2,0 MPa (20 kgf/cm²) e nenhum valor individual deve ser inferior a 1,7 MPa (17 kgf/cm²)

com idade mínima de 7 dias.

Tabela 23 – Ensaio de resistência a compressão simples nos tijolos sem adição de fibra.

Idade	Tijolo	Área (mm ²)	Resistência (MPa)		Parâmetros NBR 8491 (2012)	
			Individual	Média	Individual	Média
7 dias	C1-1	16900	1,8			
	C1-2	16900	2,0			
	C1-3	16900	1,7			
	C1-4	16900	2,3	2,12	≥ 1,7	≥ 2,0
	C1-5	16900	1,9			
	C1-6	16900	2,7			
	C1-7	16900	2,4			

Fonte: autora, 2019.

Tabela 24 – Ensaio de resistência a compressão simples nos tijolos com adição de fibra a 2%.

Idade	Tijolo	Área (mm ²)	Resistência (MPa)		Parâmetros NBR 8491 (2012)	
			Individual	Média	Individual	Média
7 dias	C2-1	16900	2,0			
	C2-2	16900	2,3			
	C2-3	16900	2,9			
	C2-4	16900	2,4	2,42	≥ 1,7	≥ 2,0
	C2-5	16900	2,2			
	C2-6	16900	2,9			
	C2-7	16900	2,4			

Fonte: autora, 2019.

Tabela 25 – Ensaio de resistência a compressão simples nos tijolos com adição de fibra a 3%.

Idade	Tijolo	Área (mm ²)	Resistência (MPa)		Parâmetros NBR 8491 (2012)	
			Individual	Média	Individual	Média
7 dias	C3-1	16900	3,0			
	C3-2	16900	3,5			
	C3-3	16900	3,7			
	C3-4	16900	4,1	3,57	≥ 1,7	≥ 2,0
	C3-5	16900	2,8			
	C3-6	16900	3,9			
	C-7	16900	4,0			

Fonte: autora, 2019.

Tabela 26 – Ensaio de resistência a compressão simples nos tijolos com adição de fibra a 4%.

Idade	Tijolo	Área (mm ²)	Resistência (MPa)		Parâmetros NBR 8491 (2012)	
			Individual	Média	Individual	Média
7 dias	C4-1	16900	2,9			
	C4-2	16900	4,7			
	C4-3	16900	3,3			
	C4-4	16900	4,5	3,78	≥ 1,7	≥ 2,0
	C4-5	16900	4,2			
	C4-6	16900	3,1			
	C4-7	16900	3,7			

Fonte: autora, 2019.

Dos testes de resistência a compressão simples realizados, todos os tijolos submetidos tiveram resistência individual e resistência média dentro do exigido pela norma ABNT NBR 8491/2012. A adição da fibra do coco verde na mistura solo-cimento aumentou consideravelmente os níveis de resistência comparado o tijolo sem nenhuma adição de fibra.

A formulação padrão (C1) sem adição de fibra de coco verde serviu como referência comparativa para análise de dados das composições posteriores C2, C3 e C4.

Observou-se que a composição C4 com 4,0% de adição de fibra de coco verde apresentou melhores resistências à carga de ruptura após os 7 dias de cura, como pode ser notado na Tabela 21. Este fenômeno pode ser explicado pela propriedade que as fibras possuem de transferência de esforços para o solo, causando redistribuição de tensões e deformações no interior do material.

Em relação à fratura sofrida ao tijolo observou-se, que a adição de fibra nos tijolos proporciona melhor distribuição das tensões internas, em relação a composição sem adição da fibra, mesmo após a fissuração do tijolo as fibras sustentaram as faces das fissuras unidas, evitando o esfarelamento do material, não permitindo sua fratura catastrófica.

De acordo com Silva *et al.* (2008), uma das principais finalidades de se reforçar matrizes com fibras é o aumento da resistência, precavendo ou atenuando o surgimento de fissuras, concedendo maior capacidade de absorção de energia até a ruptura. A comparação das fraturas entre a composição padrão (C1) e a composição a 4% (C4) são apresentadas na (Figura 25).

Figura 25 – Fraturas do ensaio de resistência a compressão simples em tijolos de composição C1 e C4.



C1 - Composição sem adição de fibra de coco verde

C4 - Composição com 4% de adição de fibra de coco verde

Os dados apresentados demonstram a evolução dos resultados e asseguram a possibilidade da adição da fibra do coco verde a tijolos solo-cimento, tornando-o um material resistente para alvenaria de vedação, principalmente em projetos que visam baixo custo.

5.10 VALORAÇÃO DA PRODUÇÃO DE TIJOLO VAZADO SOLO-CIMENTO-RESÍDUO

Para os cálculos de custo unitário abaixo, adotou-se o preço de R\$ 22,00 para o saco de 50kg de cimento Portland. Os custos de mão-de-obra foram considerados valores com base na tabela de encargos dos custos unitários básicos da construção do Sindicato da Indústria da Construção Civil de Pernambuco (SINDUSCON-PE, 2019).

Para a olaria ecológica é recomendado pelo fabricante da prensa a operação com 3 pessoas, enquanto uma prensa o tijolo, a segunda retira e empilha e a terceira prepara a mistura do solo-cimento-resíduo, resultando em um funcionamento dinâmico, sem pausas desnecessárias na produção.

Para produção de 20 tijolos com as dimensões 24 X 12 X 7 cm utiliza-se os seguintes materiais e insumos:

Solo – 48,12 kg;

Cimento – 14% adicionado à massa do solo = 7,83 Kg;

Fibra de coco verde – 2, 3 e 4% adicionado à massa do solo

Mão de obra – R\$ 8,19/hora (SINDUSCON-PE para a profissão de pedreiro);

Estimativa de produção da prensa manual Jarfel Sahara – 1000 a 3000 unidades/dia;

Cálculo do custo unitário do tijolo vazado, tendo como base o preço médio do comércio local:

Cimento – R\$ 0,44/Kg;

Cimento = $(7,83 \times 0,44) / 20 = \text{R\$ } 0,172$

Soma do custo unitário dos materiais:

R\$ = R\$ 0,172

Mão de obra: $(\text{R\$ } 8,19/\text{hora} \times 3 = 24,57) / 428 \text{ unidades/hora} = \text{R\$ } 0,057$

Custo unitário dos materiais + mão de obra = $0,172 + 0,057 = \text{R\$ } 0,22$

Considerando-se que o preço unitário de venda do tijolo ecológico vazado convencional mais barato encontrado no comércio foi o de R\$ 0,75, sendo o mais caro de R\$ 2,00 e que o custo final da unidade nesta pesquisa foi de R\$ 0,22, tem-se uma valorização de 70,67% e 89% respectivamente ao valor de custo de produção. Os valores variam de acordo com a região e de acordo com os materiais presentes e sua composição, são vendidos no quantitativo de mil unidades. O custo total do valor unitário do tijolo ecológico não levou em consideração o custo do maquinário, sendo o valor da prensa de aproximadamente R\$ 6.700 reais e o triturador R\$ 392,00 reais.

Além da viabilidade econômica, é de grande relevância enfatizar os benefícios da utilização dos tijolos solo-cimento-resíduo propostos nesse trabalho, sobretudo do ponto de vista ambiental. Além de promover a destinação de um resíduo que seria descartado no meio ambiente, acarretando a degradação ambiental, causando impactos negativos, viabiliza-se ainda, a pouca utilização do cimento Portland na construção civil, material demasiadamente degradante e não polui a atmosfera por se tratar de um tijolo o qual não necessita de sinterização para sua cura.

Adicionalmente a todas as informações e discussão dos pontos de vista técnico, ambiental e econômico desenvolvidas neste trabalho, salienta-se a importância da sensibilização e disseminação das práticas de desenvolvimento sustentável, com o propósito de promover o crescimento sustentável das cidades e estados brasileiros, garantindo a manutenção dos recursos naturais e um meio ambiente sadio e equilibrado para população atual e futura.

6 CONCLUSÕES

Em consonância com os objetivos propostos e previstos nessa dissertação de mestrado, são apresentadas as seguintes conclusões:

- 1- A facilidade na aquisição dos materiais utilizados nesta pesquisa viabiliza a replicação dos procedimentos em maior escala de produção, levando em conta também a simplicidade do processo de fabricação dos tijolos solo-cimento;
- 2- O solo a ser utilizado, em geral, é de fácil obtenção, muitas vezes sendo perto do local de fabricação, reduzindo ou até mesmo eliminando o custo com transporte; os materiais e equipamentos utilizados na fabricação são simples e de baixo custo; é um material ecológico pois dispensa combustível em sua fabricação, por não necessitar de sinterização através da queima; a regularidade de seu formato, planeza e lisura, proporcionam o uso reduzido de argamassas e revestimentos; sua produção simples, não necessita de mão-de-obra especializada;
- 3- A fabricação de tijolos ecológicos exige certos cuidados, principalmente, quanto a determinação do comprimento da fibra no sentido de evitar o aparecimento de fissuras resultando na má qualidade do tijolo;
- 4- Todas as composições com adição de fibra de coco verde procedidas nesta pesquisa atenderam os requisitos da ABNT NBR 8491 (2012), estando de acordo com as análises dimensionais, absorção de água e resistência a compressão simples;
- 5- Os tijolos fabricados apresentam as características requeridas para serem utilizados como elemento construtivo de vedação em alvenaria;
- 6- A composição (C4) com 4% da fibra do coco verde obteve um melhor desempenho de resistência a compressão simples comparada a formulação (C1) sem fibra em um tempo de cura de 7 dias. Além disso, verificou-se que todas as composições obtiveram valores superiores ao mínimo exigido pela norma NBR 8491 (2012) de $\geq 1,7$ para valores individuais e $\geq 2,0$ MPa para a médias dos 7 tijolos.
- 7- O lucro estimado do tijolo ecológico nesta pesquisa foi o de 70,67% em relação ao seu custo de produção, demonstrando além de vantagem técnica, ambiental e social, viabilidade econômica.
- 8- Os principais benefícios do tijolo ecológico solo-cimento-resíduo é sua função social e ambiental;

- 9- A fabricação de tijolos ecológicos solo-cimento-fibra deve ser um incentivo para frente de trabalhos comunitários e uma alternativa para se resolver o problema ambiental do resíduo coco, com a redução de sua disposição em aterros sanitários por meio de sua reciclagem em material cerâmico.
- 10- Apesar de todas as vantagens elencadas, deve-se ressaltar a falta de uma normatização que estabeleça padrões operacionais para fabricação de tijolos solo-cimento com a incorporação de fibra de coco.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G. **Caracterização física e classificação dos solos**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Faculdade de engenharia. Departamento de transportes, 2005.

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Cimento: diferentes tipos e aplicações**. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://abcp.org.br/imprensa/artigos/cimento-diferentes-tipos-e-aplicacoes/?politica=sim>. Acesso em: 07 out. 2019.

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio**. São Paulo, 2004.

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de tijolos solo-cimento com a utilização de prensas manuais**. São Paulo, 2000.

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Solo-cimento**. São Paulo, 2009. Disponível em: <https://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/aplicacoes/solo-cimento/>. Acesso em: 07 out. 2019.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019**. São Paulo, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 49: Agregado fino: Determinação de impurezas orgânicas**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459: solo: determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e solo**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180: solo - determinação do limite de plasticidade: método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: solo: análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491: Tijolo de solo-cimento: requisitos**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492: Tijolo de solo-cimento: análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos: Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833: fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com a utilização da prensa manual ou hidráulica.** Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1: Água para amassamento de concreto.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland: requisitos.** Rio de Janeiro, 2018.

BALESTIERI, J. **Geração de energia sustentável.** São Paulo: UNESP, 2018.

BRAIDA, J. A. *et al.* Elasticidade do solo em função da umidade e do teor de carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 477-485, 2008.

BRAINER, S. A adaptação do Nordeste ao cenário de modernização da cocoicultura brasileira. **Caderno setorial ETENE**. v.2, n. 18, out. 2017.

BRAINER, S. Produção de coco: o Nordeste é um destaque nacional. **Caderno setorial ETENE**. n. 61, dez. 2018.

BRASIL. Lei 12.305, 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; Altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 22 maio. 2018.

CABRAL, M. et al. **Composição da fibra da casca de coco verde in natura e após pré-tratamentos químicos.** ENGEVISTA, v. 19, n.1, p. 99-108. 2017.

CAPUTO, H. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 6. ed. Rio de Janeiro: LCT, 1988.

CARRIJO, A.; LIZ, S.; MAKISHIMA, N. **Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola.** Horticultura Brasileira, Brasília, v. 20, n. 4, p. 533-535, dezembro 2002.

CAVALCANTE, L. O agronegócio do coco no Brasil e a territorialização do capital. **Revista Pegada**, vol. 19. n.3, p. 117-143. 2018.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. Resolução Nº 44/228 da Assembleia Geral da ONU, de 22-12-89, **estabelece uma abordagem equilibrada e integrada das questões relativas a meio ambiente e desenvolvimento: a Agenda 21** - Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1995. Disponível em: <http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/agenda21.pdf>. Acesso em: 22 maio. 2018.

CORREIA, M. **Árvore do conhecimento: coco.** AGEITEC EMBRAPA, Aracaju, 03 ago. 2012. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/coco/arvore/CONT000giw3qz5o02wx5ok05vadr1u5iye30.html>. Acesso em: 02 dez. 2019.

CUENCA, M. A. G. **Importância econômica do coqueiro.** In: FERREIRA, J. M. S.;

WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. (Ed.). **A cultura do coqueiro no Brasil**. 2. ed. Aracaju: Embrapa-SPI, 1998.

DALTOÉ, M. Análise Qualitativa de Resíduos Sólidos Presentes nas Redes de Micro e Macrodrenagem na Cidade de Pelotas-RS. *Eng Sanit Ambient*, v. 21, n.1, p. 151-158, 2015.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação dos solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.

FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **World Production 2018**. Disponível em: [http:// faostat.fao.org/site/342/default.aspx](http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx). Acesso em: 14 out. 2019.

IEP – Instituto Educacional Piracicabano. **Cartilha produção de tijolos solo-cimento**. São Paulo: UNIMEP, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático de Produção Agrícola**. 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>. Acesso em: 06 dez. 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

IPA - Instituto Agrônomo de Pernambuco. **Coqueiro: folheto explicativo**. 2017. Disponível em: <http://www.ipa.br/resp42.php>. Acesso em: 02 dez. 2019.

LEÃO, R. **Tratamento superficial de fibra de coco e aplicação em materiais compósitos como reforço do polipropileno**. Brasília, 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas). Universidade de Brasília, 2012.

LEPSCH, I. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010. Cap.2, p.30-44.

LIMA, R. C. O. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito**. Campina Grande, 2010. 107 p. Dissertação (mestrado em engenharia civil e ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

MADEIRO, C. **Seis Estados decretaram estado de emergência por zika**. 2015. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/saude/ultimasnoticias/redacao/2015/12/11/seis-estados-decretaram-estado-de-emergencia-por-zika-veja-oque-muda.htm>. Acesso em: 20 jan. 2020.

MARAFON, A.; AMARAL, A.; LEMOS, E. **Characterization of bamboo species and other biomasses with potential for thermal energy generation**. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 49, 2019.

MARTINS, C. JESUS JÚNIOR, L. **Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional: panorama 2014**. Aracaju. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2014. Disponível em: [http:// www.bdpa.cnptia.embrapa.br](http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br). Acesso em: 03 dez. 2019.

MATTOS, A; ROSA, M; CROSÓSTOMO, L; BEZERRA, F; CORREIA, D; VERAS, L.

Beneficiamento da Casca de Coco Verde. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2011.

MENEZES, V. **Análise da porosidade de material cerâmico utilizando o ensaio por ultrassom.** Volta Redonda, 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal Fluminense, 2015.

MEHTA, P. **Concrete, Microstructure, Properties and Materials.** 3ª Edição. ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Efeito estufa e aquecimento global.** 2015. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/informma/item/195-efeito-estufa-e-aquecimento-global>. Acesso em: 20 jan. 2020.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Ministério da Saúde divulga novos casos de microcefalia.** 2015. Disponível em: <http://www.saude.gov.br/noticias/agencia-saude/21164-ministerio-da-saude-divulga-novos-casos-de-microcefalia>. Acesso em: 20 jan. 2020.

MOTTA, C; MORAIS, W; ROCHA, N. **Tijolo de Solo Cimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis.** Belo Horizonte: Exata, 2014. p. 13-26.

NETO, F. *et al.* **Possíveis formas de aproveitamento dos resíduos oriundos do coco (Cocos nucifera L.).** Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 2, 2010, Bento Gonçalves. Anais. Rio Grande do sul, 2010.

NEVES, C. M. M.; FARIA, O. B.; ROTONDARO, R.; CEVALLOS, P. S.; HOFFMANN, M. V. **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo.** Rede Ibero – americana. PROTERRA, 2005.

NUNES, M; SANTOS, J. **Alternativas tecnológicas para o aproveitamento de resíduos de coqueiro gigante para produção de adubo orgânico, compostagem e outras.** In: CINTRA, F; FONTES, H; PASSOS, E; RERREIRA, J. (Ed.). Fundamentos tecnológicos para a revitalização das áreas cultivadas com coqueiro gigante no nordeste do Brasil. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. p. 127-143.

NUNES, M. **Coprodutos do coqueiro: matéria-prima x sustentabilidade ambiental.** A Cultura do Coqueiro no Brasil. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

PINTO, C. **Curso básico de Mecânica dos Solos** 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. **Soil-cement construction handbook.** Illinois, 1969. 42p.

PESSOA, C. **Análise dos solos de urucu para fins rodoviários.** Distrito Federal, 2004. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) Universidade de Brasília, 2004.

REED, J. N. **Mechanics of laminted composite plates: theory and analysis.** 2. ed. Boston: CRC Press, 2003.

RODRIGUES, C. MENTI, M. **Resíduos sólidos: gerenciamento e políticas públicas federais**. PPGDir – UFRGS. v. 4, ed. Digital, n. 3, p. 59-79. 2016.

SAHARA. **Prensa manual 12,5x25 especificações técnicas**. 2019. Disponível em: <https://www.jarfel.com.br/maquinas/tijolos-ecologicos-solo-cimento/prensa-manual-transformer.php>. Acesso em: 23 nov. 2019.

SAHARA. **Triturador JAG especificações técnicas**. 2019. Disponível em: <https://www.jarfel.com.br/maquinas/tijolos-ecologicos-solo-cimento/triturador-jag.php>. Acesso em: 23 nov. 2019.

SANTOS, W; GUERREIRO, L; BORGES, G. **Influência do tratamento químico na fibra de coco para utilização em compósito polimérico**. São Paulo: Blucher, 2018. p. 4356-4359.

SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE -ES. **Aedes Aegypti - Microcefalia**. 2018. Disponível em: <https://mosquito.saude.es.gov.br/microcefalia>. Acesso em: 20 jan. 2020.

SEBRAE. **O cultivo e o mercado de coco verde**. 2016. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-do-coco-verde,3aba9e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD>. Acesso em: 02 dez. 2019.

SILVA, I; LAGO, L; SOARES, J; SOUZA, P. **Avaliação do uso de fibra de coco em hcompósitos cimentícios**. In: Congresso brasileiro do concreto, 2008, Anais. Salvador: IBRACON, 2008.

SILVA, G. **Estudo do Comportamento do Concreto de Cimento Portland produzido com a Adição do Resíduo de Polimento do Porcelanato**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte/MG, 2005.

SILVEIRA, M. **Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em salvador - BA**. Programa de Pós-graduação em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo. Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008. 164 p.

SINDUSCON-PE. SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM PERNAMBUCO. **Custos Unitários Básicos de Construção**. 2019. Disponível em: http://sindusconpe.com.br/arqConteudo/arqServicosCub/SindusconsPE_201812TabelaCUBm2_comdesoneracao_comvariacaopercentual.pdf. Acesso em: 10 jan. 2020.

SOIL SURVEY MANUAL. **Soil Science Division Staff**. March 2017. Disponível em: <https://www.iec.cat/mapasols/DocuInteres/PDF/Llibre50.pdf>. Acesso em: 9 jul. 2018.

VALLE, D; PIMENTA, D; AGUIAR, R. Zika, dengue e chikungunya: desafios e questões. **Epidemiol. Serv. Saúde**, Brasília, v. 25, n. 2, p. 419-422, 2016.


ANEXOS

ANEXO A - Tipos de cimento X aplicações

APLICAÇÃO	TIPOS DE CIMENTO PORTLAND
Argamassa de revestimento e assentamento de tijolos e blocos	Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Argamassa de assentamento de azulejos e ladrilhos	Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F) e Pozolânico (CP IV)
Argamassa de rejuntamento de azulejos e ladrilhos	Branco (CPB)
Concreto simples (sem armadura)	Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Concreto magro (para passeios e enchimentos)	Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Concreto armado com função estrutural	Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Pavimento de concreto simples ou armado	Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Pisos industriais de concreto	Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI)
Solo-cimento	Composto (CP II-E, CP II-Z , CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Argamassas e concretos para meios agressivos (água do mar e de esgotos)	de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e Resistente a Sulfatos
Concreto-massa	de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e de Baixo Calor de Hidratação
Concreto com agregados reativos	Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)

Fonte: ABCP, 2002

ANEXO B – Determinação do limite de liquidez e plasticidade

 INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA PERNAMBUCO		LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES - LabTec					
DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - RELATÓRIO DE ESTUDO GEOTÉCNICO							
INTERESSADO: UEDJA TATIANE				DATA DO RELATÓRIO: 18/02/2019			
REGISTRO DA AMOSTRA: SOLO CORRIGIDO				PROGRAMA: MESTRADO			
CARACTERÍSTICA TÁTIL-VISUAL: SOLO FINO DE COR ALARANJADA				ORIGEM DA CAMADA: -			
ABNT NBR 6459:2016 Versão Corrigida:2017- Solo - Determinação do limite de liquidez						Nº DO ENSAIO: 004	
ABNT NBR 7180:2016- Solo — Determinação do limite de plasticidade						DATA DO ENSAIO: 18/11/2019	
LIMITE DE LIQUIDEZ - ABNT NBR 6459:2016							
Cápsula	N.º	505	527	524	511	535	OBSERVAÇÕES:.
Golpes	g	15	19	25	32	42	
Peso da Cápsula	g	11,45	12,00	12,13	12,61	12,25	
Peso Bruto Úmido	g	19,70	20,51	21,64	18,96	19,06	
Peso Bruto Seco	g	17,69	18,48	19,43	17,51	17,52	
Peso da Água	g	2,01	2,03	2,21	1,45	1,54	LIMITE DE LIQUIDEZ:
Peso do Solo Seco	g	6,24	6,48	7,30	4,90	5,27	31%
Umidade	%	32,21	31,33	30,27	29,59	29,22	
LIMITE DE PLASTICIDADE - ABNT NBR 7180:2016							
Cápsula	N.º	540	510	502	526	534	LIMITE DE PLASTICIDADE:
Peso da Cápsula	g	8,31	8,17	8,76	8,78	8,62	23%
Peso Bruto Úmido	g	10,82	11,07	11,79	10,72	11,60	
Peso Bruto Seco	g	10,34	10,55	11,23	10,38	11,03	
Peso da Água	g	0,48	0,52	0,56	0,34	0,57	
Peso do Solo Seco	g	2,03	2,38	2,47	1,60	2,41	ÍNDICE DE PLASTICIDADE:
Umidade	%	23,65	21,85	22,67	21,25	23,65	8%
COERÊNCIA:		OK	OK	OK	Abandona	OK	

ANEXO C – Resistência a compressão simples da composição padrão C1 sem adição de fibra de coco verde.

INSTITUTO FEDERAL DE PERNAMBUCO - CAMPUS REFICE
COMPRESSÃO DE BLOCOS CERÂMICOS

Relatório de Ensaio

[illegible]

Corpo de Prova	Área (mm ²)	Força @Força Max. (kgf)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	16900	3149	1.8
CP 2	16900	3508	2.0
CP 3	16900	2973	1.7
CP 4	16900	4042	2.3
CP 5	16900	3257	1.9
CP 6	16900	4632	2.7
CP 7	16900	4090	2.4
Número CPs	7	7	7
Média	16900	3664	2.126
Desv.Padrão	0.0000	604.8	0.3509
Coef.Var.(%)	0.0000	16.50	16.50
Mínimo	16900	2973	1.725
Máximo	16900	4632	2.688

